Untersuchungen zur Extremitätendurchblutung in Ruhe und während Operationen bei Kindern

Michael Hartung

Diss.
München
1985

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544319_0008

AUS DER KINDERCHIRURGISCHEN KLINIK DES
DR. VON HAUNER'SCHEN KINDERSPITALS
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN
DIREKTOR: PROF. DR. W. CH. HECKER

UNTERSUCHUNGEN ZUR EXTREMITÄTENDURCHBLUTUNG IN RUHE UND WÄHREND OPERATIONEN BEI KINDERN

INAUGURAL - DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE IN DER GESAMTEN MEDIZIN
AN DER LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN

VORGELEGT VON
MICHAEL H A R T U N G
MÜNCHEN
1984

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin

der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. W. Ch. Hecker

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 20.11.1984

DISSERTATIONS - UND FOTODRUCK FRANK GmbH
8000 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2809090

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS SEITE

1.	EINLEITUNG	1
2.	METHODEN	3
2.1.	Gebräuchliche Methoden zur Messung der Extremitätendurchblutung	3
2.1.1.	Radiologische Methoden: Untersuchung mit markierten Substanzen	3
2.1.2.	Volumetrische Methoden: Wasser- und Luftplethysmographie	4
2.1.3.	Elektromagnetische Strömungsmesser	7
2.1.4.	Kalorimetrie	7
2.1.5.	Messung linearer Dimensionen: Dehnungsmeßstreifenplethysmographie	8
2.1.5.1.	Prinzip der Dehnungsmeßstreifenplethysmographie	8
2.1.5.2.	Beschreibung der benutzten apparativen Einrichtungen	11
2.1.5.3.	Beschreibung des allgemeinen Untersuchungsganges	14
2.1.5.4.	Auswertung und Beschreibung der erhaltenen plethysmographischen Kurven	16
2.2.	Plethysmographische Methoden zur Bestimmung der venösen Kapazität und venösen Entleerungsgeschwindigkeit	19
2.3.	Methode der Blutdruckmessung	20
2.4.	Statistische Auswertung	21

INHALTSVERZEICHNIS SEITE

3.	KRITIK DER METHODEN	22
3.1.	Fehlerquellen bei der technischen Durchführung der plethysmographischen Messungen	23
3.1.1.	Allgemeines	23
3.1.2.	Lagerung der untersuchten Extremität	24
3.1.3.	Temperatureinflüsse	24
3.1.4.	Auswahl und Anlage der Meßfühler	24
3.2.	Fehlerquellen bei der Auswertung der gewonnenen Kurven	26
3.2.1.	Allgemeines	26
3.2.2.	Verschiedene Kurventypen	27
3.2.3.	Artefakte	32
4.	EIGENE UNTERSUCHUNGEN	33
4.1.	Patienten	33
4.2.	Gewählter Untersuchungsgang und allgemeine Bedingungen	34
5.	ERGEBNISSE	37
5.1.	Allgemeine Daten	
5.2.	Peripherer Blutfluß, peripherer Widerstand, Venenentleerungsgeschwindigkeit und venöse Kapazität in Ruhe	38
5.3.	Perioperative Verlaufsbeobachtung der untersuchten Parameter	43
6.	DISKUSSION	55
7.	ZUSAMMENFASSUNG	67
8.	TABELLEN	71
9.	LITERATUR	92

1. EINLEITUNG

Zur Messung der peripheren Durchblutung sind viele Methoden eingeführt und bewährt. In der Praxis hat sich die Venenverschlußplethysmographie als die derzeit einfachste und für den Patienten wenig belastende, alle erforderlichen Voraussetzungen (auch für wissenschaftliche Zwecke) erfüllende Methode herausgestellt. Es handelt sich hierbei um ein unblutiges, schmerzfreies, genaues und reproduzierbares Verfahren zur Messung der Extremitätendurchblutung und anderer Gefäßparameter. Aufgrund dieser Eigenschaften eignet es sich sehr gut zu Untersuchungen an Kindern. Einschränkungen erfährt die Methode in erster Linie beim Einsatz in bestimmten Altersgruppen und durch die in der Pädiatrie relativ geringen Indikationsgebiete (11, 35, 39).

Die Venenverschlußplethysmographie erlaubt eine quantitative Beurteilung der peripheren Durchblutung sowohl im arteriellen als auch im venösen Schenkel. Gemessen werden der periphere Blutfluß, die venöse Kapazität und die Venenentleerungsgeschwindigkeit. Bei gleichzeitiger Messung des Blutdruckes läßt sich der periphere Widerstand rechnerisch ermitteln.

Darüber hinaus kann man die Plethysmographie bei der Untersuchung des peripheren Kreilaufverhaltens bei in die Homoiostase eingreifenden Ereignissen - wie z.B. die Geburt oder Operationen - anwenden.
Außerdem war es notwendig sogenannte Normalwerte - besser: an gesunden Versuchspersonen unter standardisierten Bedingungen gemessene Werte der genannten Parameter - zu erstellen, da bisher hauptsächlich Untersuchungen an angiologisch erkrankten Erwachsenen vorgenommen wurden (79). Vergleichbare quantitative Daten der Extremitäten-

durchblutung der verschiedenen kindlichen Altersgruppen liegen nur in sehr beschränkter Zahl vor (3, 19, 21, 47, 66).

Vorliegende Arbeit befaßt sich also mit der Erstellung von Normalwerten des peripheren Blutflusses von kreislaufgesunden Kindern der verschiedenen Altersgruppen, der Verlaufsbeobachtung bei Operationen sowie der Betrachtung von venöser Kapazität und Venenentleerungsgeschwindigkeit bei Kindern. Vergleichbare Untersuchungen dieser Art wurden bisher noch nicht durchgeführt.

2. METHODEN

2.1. Gebräuchliche Methoden zur Messung der Extremitätendurchblutung

2.1.1. Radiologische Methoden: Untersuchungen mit markierten Substanzen

Hierbei kommen in erster Linie radioaktiv markiertes Albumin und die 133-Xenon-Muskelclearance zum Einsatz (7, 17).

Bei Verwendung des 133-Xenons wird in den M. tibialis anterior der betreffenden Extremität 0,1 ml in physiologischer Kochsalzlösung gelöstes 133-Xenon injiziert. Die Verteilung wird extrakorporal szintigraphisch registriert. Es wird eine Zeit-Aktivitätskurve geschrieben, aus der sich das Muskelblutstromvolumen berechnen läßt. Hierbei werden im allgemeinen Werte gemessen, deren Gesamtfehler über $\pm$ 10 % liegt. Damit ist diese Methode der Venenverschlußplethysmographie deutlich unterlegen (55, 75). Die absolut Mittelwerte stimmen jedoch bei Messung der Ruhedurchblutung gut überein, nicht so bei Messung der reaktiven Hyperämie (11, 25, 35).

Bei der Verwendung von radioaktiv markiertem Albumin wird eine Aktivität von 50 µC durch intravenöse Injektion in die Blutbahn gebracht (43). Da es das Gefäßsystem nur in geringer Menge verlassen kann und sich schnell gleichmäßig in dieser verteilt, kann unter Berücksichtigung der Schwundrate die Blutmenge

einzelner Körperteile gemessen werden. Dieses geschieht durch Radioaktivitätsmessung mit einem Scintillationszähler, der an der Wade angebracht wird. Bei Vergleichsmessungen zwischen dieser Methode und der Venenverschlußplethysmographie zeigt sich, daß der systematische Fehler zwischen den Ergebnissen nur 3 % betrug (Standardabweichung 30 %) (7, 17).

Wegen der geringen Strahlenbelastung und technisch einfacheren Durchführbarkeit kommt die 133-Xenon-Muskelclearance-Methode bei weitem häufiger zum Einsatz und kann neben der plethysmographischen Methode als klinische Routinemethode bezeichnet werden (48).

2.1.2. Volumetrische Methoden: Wasser- und Luftplethysmographie

Die durch Brodie und Russel 1905 (14) inaugurierte und 1909 durch Hewlett und Zwaluwenburg (41) erstmals praktisch angewandte Methode der Venenverschlußplethysmographie erfuhr bis zum heutigen Zeitpunkt ständige technische Verbesserungen. Bis zum Ende der 40-er-Jahre kam die Methode wegen ihrer zeitaufwendigen und komplizierten Art fast ausschließlich in der experimentellen physiologischen Forschung zur Anwendung. Die entscheidende und zur klinischen Anwendung führende technische Neuerung erfuhr sie dann 1953 durch Whitney, der einen Quecksilberdehnungsmeßstreifen entwickelte (85, 86).

Das Prinzip beruht auf der Tatsache, daß es nach Stauung der Durchblutung durch eine auf subdiastolischen Druck aufgeblasene Manschette an der gewählten Extremität distal hiervon wegen des ungehinderten arteriellen Einstroms zu einer Volumenzunahme dieses Anteils der Extremität kommt. Diese gilt es quantitativ zu messen als Maß für die Größe der arteriellen Durchblutung. Theoretisch ist die Messung nur akurat, wenn die Volumenzunahme des gesamten distalen Segments gemessen wird. Da dieses jedoch nicht praktikabel ist, wurde von Greenfield (35, 36) und anderen ein Teilsegment erfassender wassergefüllter Plethysmograph entwickelt. Andere (5, 27, 34), insbesondere Shephard (74) verwandten luftgefüllte Systeme. Gemessen wurde beim einen die Wasserverdrängung (Messung der Gewichtszunahme eines wassergefüllten Gefäß), beim anderen die Gaskompression (durch ein Manometer). Hauptmeßpunkt hierbei ist die anfänglich linear verlaufende Volumenzunahme, da die venösen Speicher den arteriellen Einstrom durch ihren Eigendruck noch nicht behindern. Der spätere, asymptotisch zu einem Plateau verlaufende Kurvenanstieg kann dann zur Bestimmung der maximalen Füllung der kapazitativen Gefäße verwendet werden.

Weite Verbreitung in der Klinik fanden beide Methoden nicht (10). Bei den Wasserplethysmographen waren es vor allem Probleme mit der Dichtigkeit und Mangel an Meßgeräten ausreichender Empfindlichkeit. Die Bedeutung des luftgefüllten Manschettenplethysmographen stellte zwar eine Erleichterung der Durchführung dar, war aber immer noch sehr störungsempfindlich (17, 25, 26, 35, 45, 63, 69).

Dennoch sollen hier kurz biede Verfahren beschrieben werden. Die Originalanordnung von Hewlett und Zwaluwenburg bestand in einem luftgefüllten Gaszylinder mit Abdichtung nach proximal, in dem fast das ganze distale Segment steckte und an dessen distalem Ende ein Schlauch zu einer mechanisch betriebenen Registriereinrichtung führte, deren Zeigerausschlag auf eine sich drehende Trommeluhr übertragen wurde. Die später von Barbey (5) verwendeten Manschetten waren nur noch 5 cm breit und wurden durch Aufpumpen auf geringen Druck zum gleichmäßigen Anlegen auf die Haut gebracht. Gemessen wurde hier die Drucksteigerung in der Manschette durch ein Differentialmanometer. Problematisch war hier vor allem mit möglichst geringen Drucksteigerungen zu arbeiten, um das Ergebnis nicht durch mechanische Manschetteneffekte an der untersuchten Extremität zu verfälschen (34, 35). Außerdem gab es Probleme bei der Wärmeableitung, da sich diese verfälschend in Bezug auf die Proportionalität auf das Meßergebnis auswirkt. Bei der Wasserplethysmographie kommen wassergefüllte, thermostatisch temperaturkonstant gehaltene, im allgemeinen breitere Gummimanschetten zum Einsatz. Das Ausmaß der Wasserverdrängung, das meistens durch Kolbenmeßzylinder ermittelt wird, gilt hier als das Maß (25, 63).

Die Occlusionsmanschetten werden bei beiden Verfahren mit Drücken zwischen 40 und 80 mmHg aufgeblasen.

2.1.3. Elektromagnetische Strömungsmesser

Hierbei wird die durch den Blutfluß in einer Arterie entstandene Potentialdifferenz mit Hilfe eines um das Blutgefäß elektromagnetische erzeugten Feldes gemessen. Die Größe der Strömung ist proportional der durchschnittlichen Blutflußgeschwindigkeit und der Intensität des Magnetfeldes.

Der relativ große Katheter muß hierzu chirurgisch in das Gefäß einführt werden. Es handelt sich also um ein invasives Verfahren (74, 76).

2.1.4. Kalorimetrie

Das zugrundeliegende Prinzig kann folgendermaßen beschrieben werden: das zirkulierende Blut erreicht ein beobachtetes Körpersegment mit einer bestimmten Temperatur und es kommt zum Wärmeaustausch mit der Umgebung. Der Rückfluß erfolgt mit erniedrigter Temperatur, und der Körperteil verliert nach dem Steady-State-Prinzip Wärme an die Umgebung. Zur Berechnung des resultierenden Blutflusses müssen die Temperatur des arteriell einströmenden Blutes, die des venös ausfließenden und der Wärmeverlust an die Umgebung bekannt sein. Für ersteres wird der Einfachheit halber die rektal gemessene Kerntemperatur genommen. Unter konstanten Raumtemperaturbedingungen kommt es zu einer definierten Wärmeabgabe pro Quadratzentimeter und Sekunde. Zur Vereinfachung wird die Extremität als

geometrisches, zylindrisches Gebilde angenommen. Aus der gemessenen venösen Austrittstemperatur des Blutes läßt sich dann der Blutfluß berechnen. Im Vergleich zur Methode mit radioaktiv markierten Substanzen, die befriedigend vergleichbare Werte liefert, werden durch die Kalorimetrie niedrigere Absolutwerte ermittelt (17, 45). Die Hauptschwierigkeit liegt in der Erfassung schneller Veränderungen des Blutflusses, da die thermische Kapazität des Umgebungsmaterials hoch ist und so mehr eine Langzeitaussage macht, was im Einzelfall jedoch wiederum durchaus erwünschenswert sein kann (35).

2.1.5. Messung linearer Dimensionen: Dehnungsmeßstreifenplethysmographie

2.1.5.1. Prinzip der Dehnungsmeßstreifenplethysmographie

Seit der Einführung eines die technische Durchführung der Plethysmographie wesentlich erleichternden Verfahrens durch Whitney 1949 (85, 86) konnte diese auch zur Messung in der täglichen klinischen Routinediagnostik eingesetzt werden (73). Die sonst benutzte luft- oder wassergefüllte flexible Manschette, die der Messung des Volumenanstiegs des entsprechenden Gliedmaßensegmentes diente, wurde durch einen quecksilbergefüllten doppelläufigen Silikonschlauch ersetzt (2). Hierbei werden die durch Dehnung des Schlauches und damit verbundenen

Widerstandsänderungen durch eine elektrische Brückenschaltung gemessen. Dazu dient die sogenannte Wheatstone'sche-Brücke. Gemessen und aufgezeichnet wird die den Segmentvolumenänderungen proportionale Ausgangsspannung der Meßbrücke.

Das immer wieder technisch modifizierte Verfahren der Plethysmographie (wörtlich: Messung von Füllungszuständen) erfuhr seine letzte nennenswerte technische Verbesserung Anfang der 70-er-Jahre durch Gutmann (37, 38, 39), der den als "Whitney-Strain-Gauge" (78, 86) bekannten Meßfühler überarbeitete und zum Beispiel den Reibewiderstand soweit verringerte, daß dieser vernachlässigbar klein wurde. Außerdem entwickelte er ein leicht zu handhabendes Gerät zur Erzeugung des Staudruckes, das auch hier dazu dient, eine Blockade des venösen Blutrückstromes bei ungehindertem arteriellen Einstrom zu erzeugen.

Gemessen wird dann die Längenzunahme des Silikonschlauches, die mit einer Verkleinerung seines Querschnittes verbunden und wegen der Proportionalitätsverhältnisse zueinander aus der Änderung des elektrischen Widerstandes die Umfangsänderung des Extremitätenabschnittes errechenbar ist.
Die Beziehung gibt folgende Formel an:

$$R = \frac{l}{Q}$$

R = elektrischer Widerstand
l = Schlauchlänge
Q = Querschnitt

Wie oben ausgeführt, ist diese dem arteriellen Bluteinstrom direkt proportional. Hierbei geht man von dem mathematischen Modell aus, daß sich jeder beliebige Kreisquerschnitt in unendlich viele kleine Dreiecke zerlegen läßt. Die in Abbildung 1 dargestellte Querschnittsfläche veranschaulicht dieses Denkmodell unter der Annahme, daß sich die Extremität nur in ihrem Umfang, nicht in ihrer Länge verändert, was durchaus den tatsächlichen Verhältnissen entspricht.

$$\frac{\triangle r}{r_o} = \frac{\triangle U}{U_o}$$

$$\frac{\text{Volumenzuwachs}}{\text{Volumen}} = \frac{\triangle r \cdot U_o}{r \cdot \frac{U_o}{2}} = 2\frac{\triangle r}{r_o} = 2\frac{\triangle U}{U_o}$$

Nach den Gesetzen des Strahlensatzes folgt hieraus:

U ist direkt proportional r und der Dreiecksfläche

Ein an die modifizierte Meßschaltung angeschlossener Schreiber zeichnet dann die Widerstandsänderung im allgemeinen auf EKG-Papier auf, wobei man durch Wahl der Papiervorschubgeschwindigkeit eine in Bezug auf ihre Steigung optimal ablesbare Kurvenform erreichen kann (siehe Abb. 3).

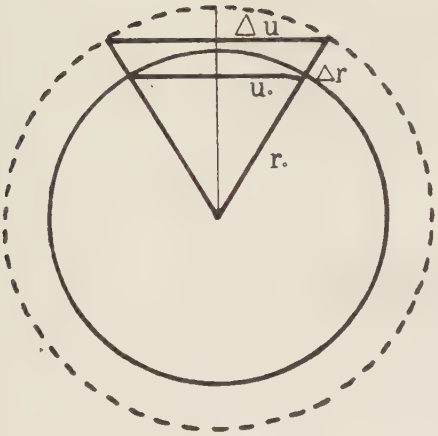

Abb. 1:
Extremitätenquerschnitt vor (durchgezogene Linie) und nach (gestrichelte Linie) venöser Stauung

2.1.5.2. Beschreibung der benutzten apparativen Einrichtungen

Verwendung fand bei der Messung der Extremitätendurchblutung der "Periquant I" der Firma LPM, Eurasberg.

Das eigentliche Gerät (Größe: Länge 50 cm, Höhe 20 cm, Tiefe 28 cm) enthält die genannte Meßbrücke, eine programmgesteuerte Pneumatik mit manometrischer Anzeige und einen elektrischen Universalausgang zum Anschluß aller gängigen EKG-Schreiber sowie den elektrischen Eingang vom Meßfühler (siehe Abb. 2 a).

1. Die Modifizierung der Meßbrücke ist in ihrer Ausgangsspannung so ausgelegt, daß ohne weitere Wandlersysteme der Direktanschluß an den vorhandenen EKG-Schreiber möglich ist.

2. Aus dem ca. 8 Liter enthaltenen Druckreservoir wird auf Knopfdruck die angeschlossene Staumanschette auf den vorgewählten Staudruck (z.B. 60 mmHg) aufgeblasen und nach vollendeter Messung wieder abgelassen.

3. Meßfühler: es handelt sich um einen quecksilbergefüllten doppelläufigen Silikonschlauch, der durch ein isoliertes Kupferkabel mit dem Hauptgerät elektrisch verbunden wird. Verwendet wurden insgesamt fünf verschiedene Größen dieser Fühler für die jeweiligen Beinumfänge. Der Silikonschlauch ist in Hartplastikgliedern reibungsarm gelagert. Nur diese liegen direkt auf der Haut auf.

4. Die Aufzeichnung der Kurven erfolgte durch einen handelsüblichen EKG-Dreifach-Schreiber der Firma Schwarzer. Papiervorschubgeschwindigkeit und Eingangsempfindlichkeit waren in weiten Grenzen regulierbar. Auf den Einsatz eines Analog-Digitalwandlers wurde wegen der damit verbundenen Umsetzungsfehler und damit abnehmenden Genauigkeit der Meßergebnisse verzichtet (38, 39). Die Auswertung der gewonnenen Kurven erfolgte nach den Grundsätzen der Geometrie per Hand.

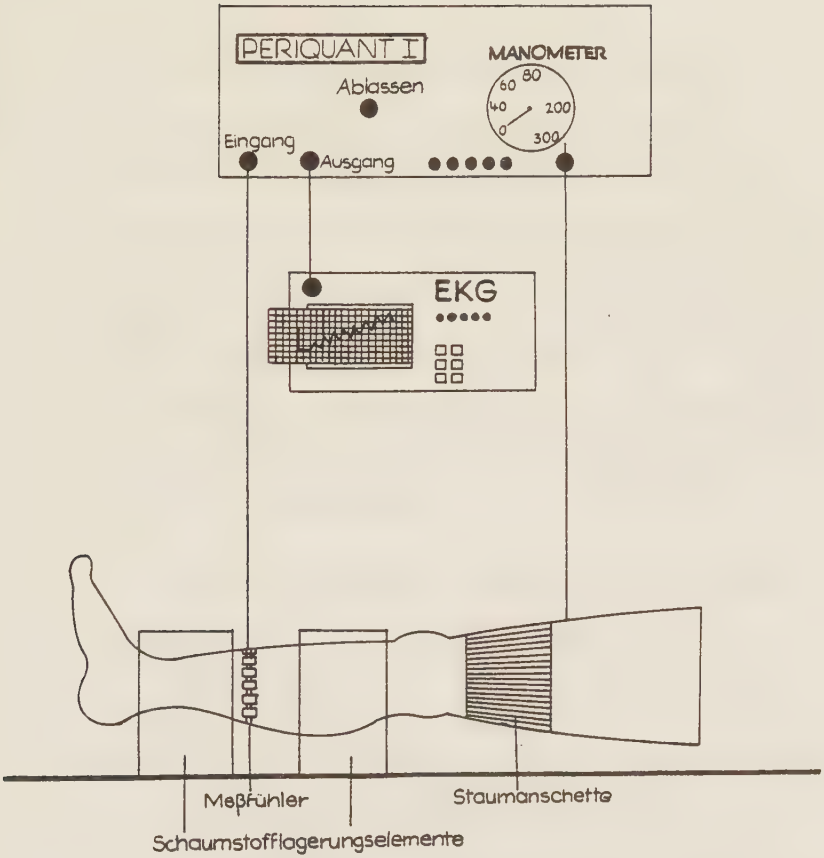

Abb. 2a Apparatur (Periquant) und Lagerung der Extremitäten (schematisch)

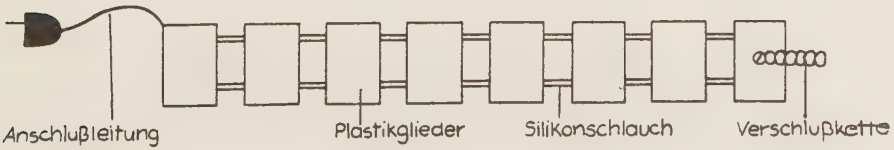

Abb. 2b Meßfühler

2.1.5.3. Beschreibung des allgemeinen Untersuchungsganges

Die zu untersuchenden Kinder lagen hierbei entweder im Bett auf den Stationen oder auf der Operationstisch. Sie befanden sich in Rückenlage. Untersucht wurde jeweils die rechte untere Extremität. Diese wurde zu diesem Zwecke auf U-förmigen Schaumstoffblöcken in Abb. 2 a gezeigter Weise gelagert. Hierbei wurde besonders darauf geachtet, daß es zu keinerlei lagerungsbedingten Blutstauung kam (37, 38). Die Mittellinie der Extremität befand sich in Herzhöhe. Das Bein war leicht abduziert und im Knie durchgestreckt.

Die Meßfühler (Abb. 2 b) wurden an der größten Circumferenz der Wade angelegt. Besonders wurde auf eine weitgehend gleiche Vorspannung des Silikonschlauches sowie dessen freie Gleitfähigkeit geachtet. Die Meßstelle wurde markiert. Wegen der leider nicht besonders flexibel gestalteten Ausführung des elektrischen Verbindungskabels zum Meßgerät erfolgte noch eine spannungsfreie Fixierung durch einen Pflasterstreifen. Es fanden zu den jeweiligen Umfängen in ihrer Länge passende Meßfühler Verwendung (5, 25, 28, 34).

Die Anlage der Staumanschette erfolgte unter Vermeidung eines venösen Vorstaues am Oberschenkel. Nach elektrischer und pneumatischer Verbindung mit dem „Periquant" erfolgte der Nullabgleich und danach die automatische Luftfüllung der Staumanschette auf den subdiastolischen Druck von 60 mmHg.

(mV)

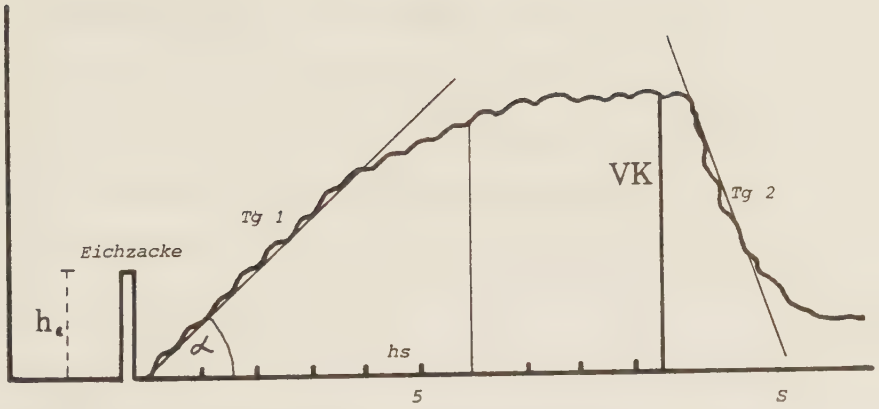

Abb. 3: Normale plethysmographische Kurve und ihre Meßstellen

Erklärungsindex:

he	=	*Höhe der Eichzacke*
Tg 1	=	*Tangente zur Berechnung des Blutflusses*
Tg 2	=	*Tangente zur Berechnung der Venenentleerungsgeschwindigkeit*
hs	=	*Höhe der Senkrechten zum Zeitpunkt 6 Sekunden*
α	=	*Anstiegswinkel der Tangente 1*
VK	=	*venöse Kapazität*
S	=	*Sekunden*

Die Vorschubgeschwindigkeit wurde dahingehend angepaßt, daß es zu Schreibung von Kurven mit einer Steigung zur Abszisse von annähernd 45 Grad kam.

2.1.5.4. Auswertung und Beschreibung der erhaltenen plethysmographischen Kurven

Bei der Auswertung der Plethysmogramme stehen grundsätzlich drei Verfahren zur Verfügung.

1. *Auswertung von Hand nach geometrischen Grundsätzen*
2. *Auswertung mit der Schablone*
3. *Auswertung durch Analoganzeiger*

ad 1:

Bei der ersten Methode wird eine Tangente an die diastolischen Fußpunkte der im Idealfall linear ansteigenden Volumenpulse der Kurve angelegt. Eine auf der Abszisse im Abstand 6 Sekunden vom Fußpunkt der Geraden errichtete Senkrechte schneidet diese. Die gemessene Höhe dieser Senkrechten wird durch die Höhe der Eichzacke dividiert. Um eine Angabe pro Minute zu erreichen, muß das Ergebnis noch mit 10 multipliziert werden.

Als Formel ausgedrückt ergibt sich folgender Ausdruck:

$$\text{Blutfluß (BF)} = \frac{\text{Höhe der Senkrechten zum Zeitpunkt 6 Sekunden}}{\text{Höhe der Eichzacke}} \times 10$$

Dimension:

$$\text{Peripherer Blutfluß} = \frac{\text{ml Blutvolumen}}{\text{100 ml Gewebe x min.}}$$

angegeben.

ad 2:

Die Auswertung der Kurven durch eine Schablone geht von der Erkenntnis aus, daß allein der Anstiegswinkel etwas über die Durchblutung aussagt. Ihre Anwendung setzt voraus, daß mit einem Papiervorschub von 10 mm/sek. oder 5 mm/sek, aufgezeichnet und der Eichausschlag entsprechend eingeregelt wurde. Die Schablone wird so auf das Plethysmogramm aufgelegt, daß ihre Bezugslinien parallel zu den Längslinien des Registrierpapiers stehen. Dann wird sie so lange verschoben, bis eine der schrägen Fluchtlinien mit dem Anstieg des Plethysmogramms übereinstimmt und der Wert abgelesen.

ad 3:

Durch ein Zusatzgerät wird es möglich, die Ergebnisse für den Blutfluß direkt digital abzulesen. Hierzu bedient man sich eines Analog-Digitalwandlers, der nach dem sogenannten Sägezahn-Abtastprinzip arbeitet und die Zeit durch Zählung der von einem Taktgeber erzeugten Impulse mißt, die nötig ist, um den jeweiligen Meßpunkt einer zeitlich linear ansteigenden Spannung zu erreichen. Wegen des teilweise hohen (bis zu 25 %) Umsetzungsfehlers ist das Verfahren für wissenschaftliche Fragestellung nicht geeignet und findet hauptsächlich bei Reihenuntersuchungen Anwendung.

Abschließend noch einiges zu den allgemeinen Auswertungsvoraussetzungen: da die plethysmographische Kurve naturgemäß einen asymptotischen Verlauf einer E-Funktion folgend nimmt und einem

Maximalwert entgegenstrebt, der der venösen Kapazität (VK) entspricht, kann eine Auswertung durch Anlegen einer Tangente im Prinzip nur in einem linearen Anteil erfolgen. Dieses ist im Idealfall nur im initialen Teil gegeben, wo man davon ausgeht, daß die unmittelbar nach dem Stau auftretende Füllungszunahme der Gefäße frei von gegenregulatorischen Einflüssen ist. Aufgrund des steigenden Gefäßinnendruckes und des anatomisch vorgegegebenen Maximalwertes der möglichen Füllung nähert sich die Kurve in beschriebener Weise dann diesem.
Nach plötzlichem Ablassen des Druckes aus der Staumanschette entleeren sich die Gefäße sehr schnell wieder. Der Meßbereich des Blutflusses beginnt im allgemeinen bei einem Wert von 0,5 ml/100 ml x min. wegen der dann das Ergebnis überlagernden und nicht mehr eindeutig von diesem zu differenzierenden Einflußgrößen wie Atmung und willkürliche Muskelbewegungen und endet bei 40 ml/100 ml x min. (37, 38).
Mit dem bei der vorliegenden Untersuchung verwendeten Plethysmographen Periquant I war es möglich, Durchblutungswerte von 0,5 - 40 ml/min. x 100 ml zu messen (33, 38). Jenseis dieser Grenzen kommt es zu Ungenauigkeiten, die für wissenschaftliche Fragestellungen nicht mehr vertretbar sind.
Besondere Schwierigkeiten bei der Auswertung bereiten die gelegentlich auftretenden atypischen Kurvenverläufe und Artefakte (siehe Kapitel 3.2.2. und 3.2.3.). Da es gilt, diese zu erkennen und weitgehend zu eliminieren, ist es notwendig, ihre typischen Formen und Verläufe zu kennen.

2.2. Plethysmographische Methoden zur Bestimmung der venösen Kapazität und venösen Entleerungsgeschwindigkeit

Zur Messung der venösen Kapazität der Gefäße dient eine bis zu ihrem asymptotischen horizontalen Verlauf fortgeschriebene oder zu definierten Zeitpunkten unterbrochene plethysmographische Kurve (37). Üblicherweise erfolgt die Registrierung 5 Sekunden vor dem Stau und dann minütlich jeweils für 10 Sekunden, zuletzt nach 5 Minuten. Die Berechnung des Meßwertes erfolgt durch Längenmessung der über der Abszisse des Winkels Alpha errichteten Senkrechten und Division dieser durch die Höhe der gewonnenen Eichzacke nach 5 Minuten Occlusionsdauer (siehe Abb. 3).

$$VK = \frac{h \text{ max. } 5 \text{ min.}}{he}$$

Dann kann mit dem für die Auswertung der Kurven zur Errechnung des peripheren Blutflusses verwendeten und im Kapitel 2.1.5.4. dargestellten Verfahren durch Anlegen einer Tangente an den direkt nach Ablassen des Staudruckes aus der Occlusionsmanschette entstehenden Kurventeilen die venöse Entleerungsgeschwindigkeit ermittelt werden. Die negative Steigung dieser Tangente beträgt im allgemeinen ein Mehrfaches der des arteriellen Einstromes.

2.3. Methode der Blutdruckmessung

Für die Blutdruckmessung nach Riva Rocci müssen im Kindesalter verschieden breite Manschetten benutzt werden, da bei zu großen Manschetten und zu geringem Oberarmumfang die ermittelten Werte zu niedrig und bei zu kleinen Manschetten fälschlich zu hohe Drücke gemessen werden.

Tabelle I: Oberarmumfang und Occlusionsmanschettenbreite

Oberarmumfang (cm)	*Breite der Manschette (cm)*
7,5 - 10	*4*
10,0 - 12,5	*5*
12,5 - 15,0	*7*
15,0 - 20,0	*9*
20,0 und mehr	*12*

Die Messungen erfolgten an der oberen Extremität mit denen in Tabelle I angegegebenen Occlusionsmanschetten.

Der periphere Widerstand (PR) errechnete sich als Quotient aus systolischem Blutdruck (RR syst.) und peripherem Blutfluß (BF) und wird in der Einheit mmHg/ml/min. mal 100 ml angegeben.

$$PR = \frac{RR\ syst.}{BF}$$

2.4. Statistische Auswertung

Die statistischen Analysen wurden nach den Tabellen der Documenta Geigy (32) durchgeführt. Aus den Einzeldaten der Patienten und Patientengruppen wurden Mittelwert ($\bar{x}$) und Standardabweichung (s) der gemessenen Parameter berechnet. Statistische Vergleiche von Mittelwerten erfolgten nach Prüfung von Normalverteilung und Gleichheit der Varianzen (F-Test) mit Hilfe des t-Testes.

Außerdem wurden die gemessenen Kreislaufparameter sowie die venöse Kapazität durch Regression zu somatischen Größen in Beziehung gesetzt, die Regressionsgeraden und ihr Korrelationskoeffizient berechnet und auf Signifikanz geprüft. Bei der Zeichnung wurde der Vertrauensbereich (5 %) durch den Standard error of mean (SEM) dargestellt:

$$SEM = \frac{\sqrt{s}}{n}$$

Test auf Parallelität der Kurvenverläufe:
Analysis of variance and covariance including repeated measures (University of California, Los Angeles).

3. KRITIK DER METHODEN

Die Venenverschlußplethysmographie war besonders in ihren Anfängen mit zahlreichen Fehlermöglichkeiten behaftet. Es wurde bereits die aufwendige und technisch störanfällige Durchführung der wasser- und luftplethysmographischen Messungen dargestellt. Aber auch die Vereinfachung durch die Dehnungsmeßstreifen-Methode birgt - vor allem für den Ungeübten - noch zahlreiche Schwierigkeiten (7, 21, 37, 38, 54). Hinzu kommen die sogenannten reaktiven Fehler, d. h. in der Methode selbst begründeten Fehler. So sind z.B. die Annahmen, daß die Staumanschette den arteriellen Einstrom nicht behindere und es bei der Occlusion wirklich zu einer totalen venösen Tamponade komme wesentliche Voraussetzung für die Gültigkeit (28) des Verfahrens. Auch daß es während der entscheidenden initialen Phase zu keiner Beeinflussung des arteriellen Einstromes kommt, ist wichtig. In Bezug auf die Frage eines möglichen Rückstromes konnt durch direkte Messung am Menschen nachgewiesen werden, daß es tatsächlich zu einer vollständigen Blockade kommt (31). Schwierigkeiten können hier gelegentlich bei sehr niedrigen arteriellen Drücken auftreten, was insbesondere bei Säuglingen der Fall sein kann. Zu einer Behinderung des arteriellen Einstromes kommt es erst bei Volumenzunahmen der Gliemaße, die zeitlich und quantitativ weit hinter dem initialen Kurvenanstieg - der ja als Meßstelle dient - liegt (29, 31, 33).

3.1. Fehlerquellen bei der technischen Durchführung der plethysmographischen Messungen

3.1.1. Allgemeines

Wichtig ist vor allem eine konsequente Beachtung der vom Hersteller und verschiedenen Autoren (34, 37, 38) angegebenen technischen Vorgehensweise. Es kommt durch die Vielzahl der möglichen Störgrößen immer wieder zu Meßfehlern, die, wenn man sie erkennt, eine Korrektur zulassen.

3.1.2. Lagerung der untersuchten Extremität

Hier ist, wie schon gesagt, besonders darauf zu achten, daß es zu keinem venösen Vorstau kommt und die U-förmigen Schaumstoffelemente derart angeordnet werden, daß weder die Staumanschette, noch der Meßfühler funktionell beeinträchtigt werden. Da herstellerseits nur eine Größe zur Verfügung steht, ergeben sich bei Kleinkindern und Säuglingen oft Lagerungsschwierigkeiten. Hinzu kommt die bei Kindern verständliche Angst vor der Untersuchung, die häufig eine ausgeprägte motorische Unruhe induziert, was zu inkonstanten Lagerungsbedingungen führt. Insbesondere die leichte Abduktionsstellung des Beines kann nicht immer sichergestellt werden.

3.1.3. Temperatureinflüsse

Die in der Literatur vielfach beschriebenen (2, 74) Einflüsse des Wärmeaustausches zwischen untersuchter Extremität und der Meßapparatur bei der Luft- und Wasserplethysmographie bereiten bei der hier gewählten Methode keinerlei Schwierigkeiten. Dafür ist in erster Linie der weitgehend temperaturunabhängige Meßfühler und die Schnelligkeit des Untersuchungsganges verantwortlich.

Die Umgebungstemperatur lag mit Ausnahme der untersuchten Säuglinge zwischen 20 und 24 Grad Celcius. Durch Messung der Haupttemperatur wurden weiterhin konstante Bedingungen sichergestellt. Diese schwankten nur in einem sehr engen Bereich (siehe Ergebnisdarstellung). Die Messungen bei Säuglingen erfolgte unter sogenannten thermoneutralen Temperaturbedingungen, d. h. dem Reifegrad und Lebensalter Entsprechenden. Die in Abhängigkeit von Umgebungstemperatur und Körpertemperatur oft erheblichen Schwankungen der Extremitätendurchblutung (77) konnten somit eliminiert werden.

3.1.4. Auswahl und Anlage der Meßfühler

Es stehen für alle Extremitätenumfänge geeignete Fühler zur Verfügung. Bei der Auswahl ist darauf zu achten, daß der Fühler locker, jedoch mit ausreichender Vorspannung anliegt, damit es nicht zu einem initialen Leerweg kommt. Zu kurz gewählte Meß-

streifen können besonders bei Kleinkindern und Säuglingen zu venösem Vorstau führen. Durch die relativ große Auflagefläche der Plastikglieder wird bei an sich geringem (ca. 6 mmHg) Auflagedruck eine Rückwirkung auf den Meßwert weitgehend ausgeschlossen (37, 38). Ferner gleitet der quecksilbergefüllte Schlauch in den Gliedern nahezu reibungslos. Die Eichfaktoren schwanken in den Grenzen ± 5 %. Außerdem ist es notwendig, den Meßfühler an der größten Zirkumferenz des Unterschenkels anzulegen, da nur so Meßwerte gewonnen werden, die mit denen der Wasser- und Luftplethysmographie vergleichbar sind. Andernfalls kann es zu erheblichen (bis zu 20 %) Differenzen kommen (17, 24, 26, 54). Auch der Anteil der Muskeldurchblutung an der Gesamtdurchblutung wird verschoben. Es werden dann falsch niedrige Meßwerte der Durchblutung ermittelt.

In eigenen Vorversuchen wurde mittels einer Schieblehre mit 1/20 mm Meßgenauigkeit die Linearität der verwendeten Meßfühler geprüft. Hierbei konnten die vom Hersteller gemachten Angaben bestätigt werden, daß diese auch über den zweifachen Meßbereich in linearem Zusammenhang mit der Länge stehen (37, 38, 39). Mit der Lehre wurden auch die Herstellerangaben über die Konstanz der Eichfaktoren und der Nullinie über die Zeit überprüft und für gültig befunden.

In Zusammenhang mit der Eichgenauigkeit von Meßbrücke und Analogrechner ergibt sich also eine für wissenschaftliche Zwecke ausreichende und deutlich hinter der methodischen liegende Genauigkeit des apparativen Instrumentariums. Die Summe aller Fehler bleibt also in Übereinstimmung mit den Herstellerangaben wohl deutlich unter einem Grenzwert von 10 % (5, 38).

3.2. Fehlerquellen bei der Auswertung der gewonnenen Kurven

3.2.1. Allgemeines

Die mitunter erheblichen Schwankungen plethysmographisch gemessener Durchblutungswerte hängen zum Teil mit den oben genannten technischen Problemen bei der Aufzeichnung der auszuwertenden Kurven, zum anderen aber auch von methodischen Fehlern ab. Bei der Auswertung der Plethysmogramme kommt es daher nicht nur auf Exaktheit im geometrischen Sinne, sondern auch auf grundlegende Kenntnisse in der Beurteilung der Kurvenart und der Artefakte an. Wie bereits oben gesagt, findet nur der initiale Anstieg zum Anlegen der Tangente Verwendung. Dieser weist jedoch eine große Variationsbreite in Form und zeitlichem Verlauf auf. Um später artefizielle und technisch nicht einwandfreie Kurven von der Auswertung auszuschließen, sollte vor jeder Aufzeichnung eine Eichzacke geeigneter Höhe geschrieben und der weitere Kurvenverlauf fortwährend registriert werden. Zur Beurteilung der Ruhedurchblutung genügt eine Dauer von ca. 10 Sekunden.

Hiernach kann die Schreibung abgebrochen werden. Zur Registrierung der venösen Kapazität und folgend der Venenentleerungsgeschwindigkeit wird in minütlichen Abständen erneut registriert und bei Ausbildung eines Plateaus (nach spätestens 5 Minuten) durch plötzliches Ablassen des Druckes aus der Staumanschette aus der Steilheit des Kurvenabfalles die VER und aus der Höhe des Plateaus von der Grundlinie die VK errechnet (siehe auch Kapitel 2.1.5.3. und Abb. 3). Bei letztgenannten beiden Meßwerten gibt es bei der Kurvenauswertung nur wenig Schwierigkeiten. Beim Anlegen der Tangente im initialen Teil der Kurven ist auf folgende typische Formen zu achten.

3.2.2. Verschiedene Kurventypen

Bei anfänglich linearem Kurvenverlauf gibt es im allgemeinen keine Entscheidungsschwierigkeiten, wo die Tangente anzulegen sei. Als normale, plethysmographische Einflußkurven werden solche bezeichnet, deren während der ersten 5 Sekunden aufgezeichneten diastolischen Fußpunkte sich durch eine Gerade verbinden lassen. Der Großteil der Plethysmogramme ist unter guten Voraussetzungen in dieser Weise zu gewinnen. In der Literatur wird häufig angegeben, nur in zirka 50 % der Fälle komme dieses vor. Hierbei handelt es sich jedoch um wasser- oder luftplethysmographische Untersuchungen (33, 35). Bei der wesentlich vereinfachten Quecksilberdehnungsmeßstreifenplethysmographie

können nach eigenen Feststellungen über 80 % der Kurven in fast idealer Weise aufgezeichnet werden. Dieser Zahlenwert wird bei Untersuchungen an Kindern in kritischen Altersgruppen (siehe oben) wegen der häufig mangelnden Kooperativität jedoch unterschritten.

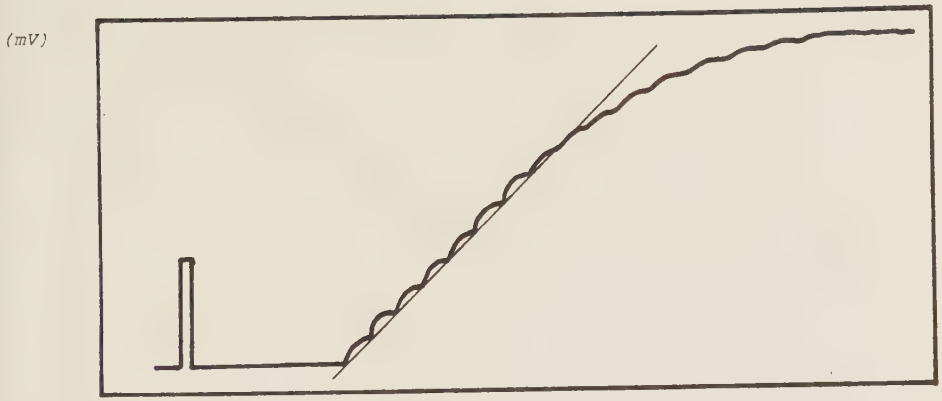

Abb. 4: Linearer Kurvenverlauf

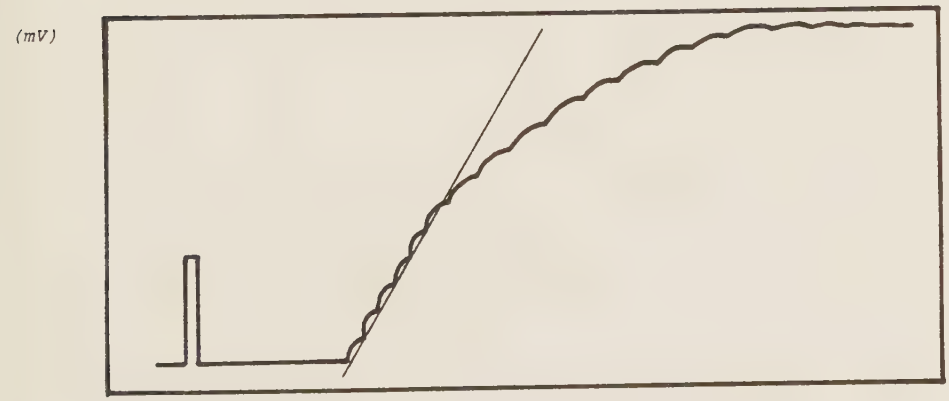

Abb. 5: Konkaver Kurvenverlauf

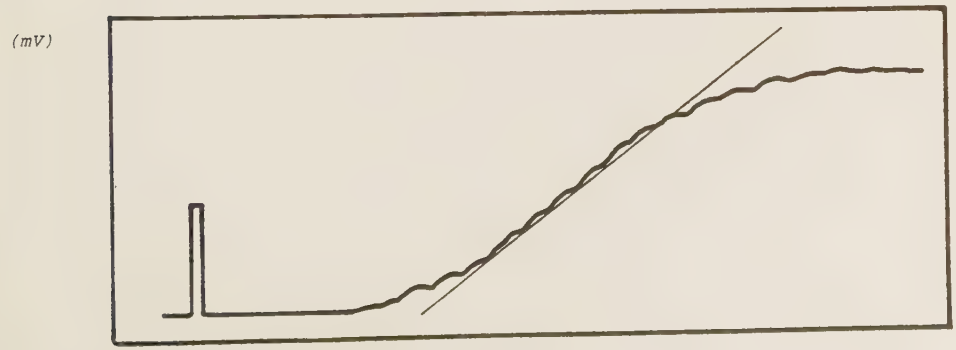

Abb. 6: Konvexer Kurvenverlauf

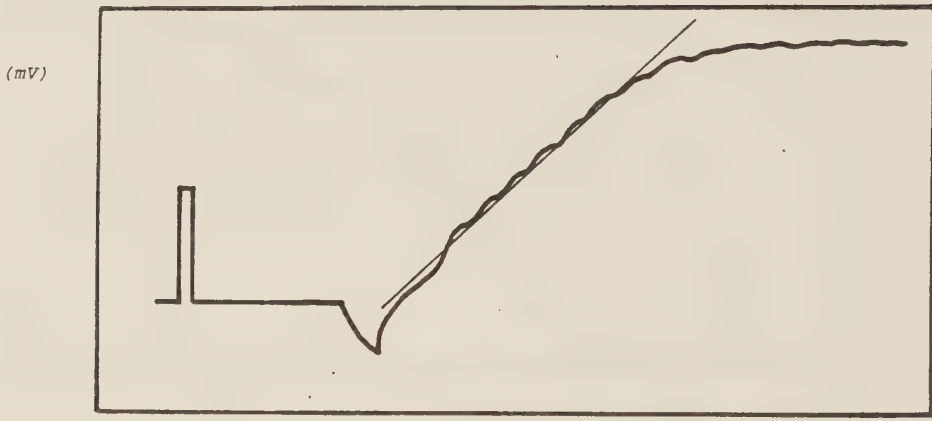

Abb. 7: Positiver und negativer Occlusionsartefakt

Bei dem in Abbildung 4 dargestellten konkavem Kurvenverlauf ist das Anlegen der Tangente durch den nicht mehr linearen initialen Verlauf erschwert. Diese sollte im steilsten Anfangsabschnitt in gewohnter Weise angelegt werden, da es sonst zur Messung erheblich geringerer Werte kommt (45). Dergestalte Meßkurven kommen vor allem bei erhöhter Durchblutung, aber auch bei verringerter Speicherkapazität der kapazitativen Gefäße vor, was durch den erhöhten Tonus erklärt werden kann (2). Auch bei venösem Vorstau durch Drosselung des Ausstromes bei der Lagerung oder durch zu schnell repetierte Messungen kann ein derartiger Kurvenverlauf beobachtet werden (36).

Auch konvex verlaufende Kurven können registriert werden (Abb. 5). Da diese durch zu großen Abstand der venösen Occlusionsmanschette vom Meßstreifen und die damit verzögerte Volumenvergrößerung der Extremität oder durch zu hohe Lagerung der Gliedmaße zustandekommt, ist dem technisch leicht Abhilfe zu schaffen und bei erneuter Messung im allgemeinen nicht mehr zu beobachten (2, 24, 35, 86). Auch hier sind, wenn dies nicht vollständig gelingt, die genauesten Werte durch Anlegen der Tangente im steilsten Teil der Kurve zu erhalten (44). Hierüber geht jedoch die Meinung der verschiedenen Autoren auseinander (33). Es wird auch empfohlen, die Tangente in einem mittleren Steilheitsgrad der Kurve anzulegen (36). Da es sich jedoch um einen meist behebbaren Fehler handelt, wird diese Entscheidung nur selten notwendig. Ein weiterer Grund zur Registrierung konvexer Einflußkurven besteht in einem zu locker angelegten Meßfühler, so daß es verspätet zur Aufzeichnung der stattgefundenen Volumenänderung kommt.

3.2.3. Artefakte

Außerdem treten Artefakte verschiedener Art auf. Leicht zu erkennen und bei der Auswertung zu berücksichtigen sind die sogenannten Occlusionsartefakte, die durch Massenverschiebung von Gewebe durch die Staumanschette verursacht werden. Abhilfe bringt hier oft erneutes exaktes Anlegen oder geringe Verschiebung. Konische Occlusionsmanschetten helfen derartiges von vorn herein zu vermeiden. Weitere artefizielle Kurvendeformationen können durch plötzliche Blutdruckschwankungen, Atembewegungen (oft zu erkennen an ihrem rhythmischen Auftreten) und unwillkürliche Muskelbewegungen verursacht werden. Auch kurzzeitige Tonusschwankungen der Gefäße und damit verbundene Durchblutungsschwankungen kommen vor.

Werden alle möglichen Fehlerquellen addiert, so beträgt die durchschnittliche Fehlerbreite bei Auswertung von Hand 10 - 15 % oder darunter (38), da sich die Fehler auch teilweise kompensieren. Die Auswertung von Hand ist der durch Schablone und der Elektrischen deutlich in ihrer Genauigkeit überlegen und somit die Methode der Wahl. Die zwischen verschiedenen Untersuchungen bei der Auswertung gefundenen Unterschiede liegen in der Größenordnung von 5 % bis zu einer Durchblutungsgröße von 20 ml/100ml x Minute (10) bei Errechnung über das arithmetische Mittel der Meßwerte aus je drei einwandfreien Meßkurven.

4. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

4.1. Patienten

Die Untersuchungen wurden auf den chirurgischen Kinderstationen und im Operationssaal sowie auf der Neugeborenen-Intensivstation im Dr. von Hauner'schen Kinderspital, München vorgenommen.

Untersucht wurden 145 männliche und weibliche Kinder im Alter zwischen 5 Wochen und 16, 5 Jahren. 122 Kinder waren männlichen Geschlechts, 23 weiblichen Geschlechts. Ein Teil der Kinder - insgesamt 36 der vorgenannten und in Tabelle III aufgeführten - wurden perioperativ zu 10 verschiedenen Zeitpunkten untersucht. Bei diesen wiederum erfolgte die Einteilung in 3 Gruppen nach folgenden Kriterien:

Gruppe I: 5 Säuglinge im Alter von 4 - 8 Wochen (5, 8 $\pm$ 1,6), die alle an einer Leistenhernie operiert wurden.

Gruppe II: 12 Kinder im Alter von 2 - 11 Jahren (6,5 $\pm$ 2,9), die sich kleinen operativen Eingriffen unterzogen (zum Großteil ebenfalls Hernienoperationen).

Gruppe III: 19 Kinder im Alter von 3 - 16, 5 Jahren (7,2 $\pm$ 4,4), die sich schwereren und längeren Operationen unterziehen mußten.

In Gruppe III befanden sich außerdem 6 an Leukämie erkrankte Kinder, denen zur autologen Reimplantation Knochenmark entnommen wurde. Die Altersverteilung ist in Abb. 8 graphisch dargestellt.

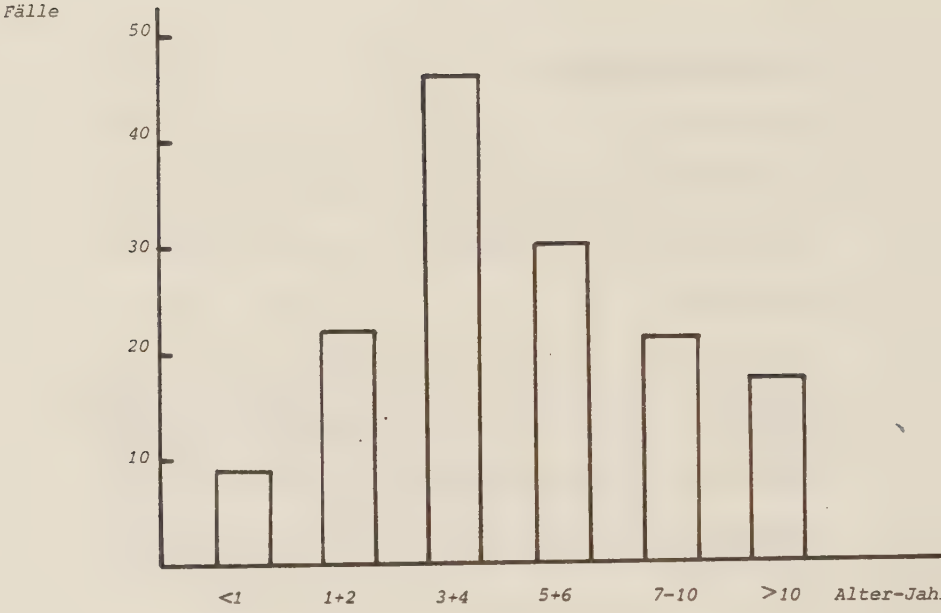

Abb. 8 Altersverteilung

4.2. Untersuchungsgang und allgemeine Bedingungen

Die Untersuchungen fanden in den Monaten November 1978 bis März 1979 statt. Die Messungen der peripheren Durchblutung, des Blutdruckes, der Venenentleerungsgeschwindigkeit und der venösen Kapazität in Ruhe fanden auf den Stationen im Bett statt. Es wurden mindestens drei Messungen mit ausreichendem Abstand hintereinander durchgeführt. Verwendung fand dann der hieraus berechnete Mittelwert.

Messungen des peripheren Blutflusses und des Blutdruckes erfolgten dann zu folgenden Zeitpunkten:

1. praeoperativ in Ruhe;
2. Messung nach Praemedikation;
3. Messung nach Narkoseeinleitung durch Trapanal;
4. Messung nach endotrachealer Intubation;
5. Messung nach ca. 1/3 der gesamten Op.-Dauer;
6. Messung nach ca. 2/3 der Op.-Dauer;
7. Messung zum Op.-Ende;
8. - 10. nach jeweils 3, 6 und 24 Stunden postoperativ.

Die perioperativ untersuchten Kinder waren mindestens 6 Stunden nüchtern, alle waren fieberfrei. Die Praemedikation wurde mit Atropin/Thalamonal durchgeführt. Die Dosierung des Atropin betrug 0,02 mg/kg Körpergewicht intramuskulär 30 - 45 Minuten vor Narkosebeginn. Thalamonal wurde erst ab einem Körpergewicht von 8 kg eingesetzt und in folgender Dosierung:

Körpergewicht (kg)	Thalamonal (ml)	Atropin
8	0,2	0,3
9 + 10	0,3	0,4
11	0,4	0,4
12 + 13	0,5	0,5
14 - 16	0,6	0,6
17 + 18	0,7	0,7
19 - 21	0,8	0,8
22 + 23	0,9	0,9
mehr als 23	1,0	1,0

Bei einem Körpergewicht von über 24 kg kamen 1,0 ml zur Anwendung, ebenso beim Atropin. 1 ml Thalamonal = 2,5 mg DHB und 0,05 mg Fentanyl.

Die Narkoseeinleitung erfolgte dann durch die intravenöse Gabe von 3 - 4 mg pro kg Körpergewicht Thiopental (Trapanal). Nach der Einschlafdosis erfolgte die Aufrechterhaltung der Narkose durch ein Halothanlachgasgemisch und Muskelrelaxantien. Infundiert wurde eine isotone Kochsalzlösung und 5,7 % Glukoselösung im Verhältnis 1:2. Bei Bedarf wurden auch Plasmaexpander, Elektrolytlösungen oder Puffer eingesetzt. Dies geschah insbesondere während der Operationen der Kinder aus Gruppe III. Vasoaktive Medikamente kamen nicht zum Einsatz. Zum Zeitpunkt 8 wurde außerdem noch die venöse Kapazität und die Venenentleerungsgeschwindigkeit gemessen.
Die Raumtemperatur betrug bei allen diesen Messungen zwischen 20 und 24 Grad Celsius bei einer mittleren Luftfeuchtigkeit von 50 % rel. Die Messung der Hauttemperatur erfolgte zum Zeitpunkt 1 an der beugeseitigen Unterschenkelmitte.
Die Eltern waren über die geplanten zusätzlichen Untersuchungen aufgeklärt und mit diesen einverstanden.

5. ERGEBNISSE

In der vorliegenden Arbeit wurden grundsätzlich zwei voneinander zu unterscheidende Untersuchungen gemacht. Zum einen wurden verschiedene Kreislaufparameter und deren Beziehung zu somatischen Größen beobachtet, zum anderen wurde der Verlauf von Blutfluß, Blutdruck und peripherem Widerstand während Operationen untersucht.

Die Einzeldaten der untersuchten Kinder sind in den Tabellen II - V aufgelistet. Mittelwert, Standardabweichung und SEM werden in Tabelle VI aufgeführt.

5.1. Allgemeine Daten

Die Hauttemperatur betrug am jeweiligen zur Messung verwendeten Unterschenkel 31,7 $\pm$ 0,7 °C, n = 53 (59). Diese wurde elektronisch mit einer Knopfsonde ermittelt.
In den Vorversuchen konnte die Linearität der Meßfühler und ihre Eichgenauigkeit nachgewiesen werden (Analog 39).
Die durchschnittliche Operationszeit in der Gruppe II betrug 25 $\pm$ 8 Min., die Anästhesiezeit 50 $\pm$ 10 Min. In der Gruppe III wurde durchschnittlich 178 $\pm$ 64 Minuten operiert und die Kinder lagen 211 $\pm$ 68 Min. in Narkose.

5.2. Peripherer Blutfluß, peripherer Widerstand, Venenentleerungsgeschwindigkeit und venöse Kapazität in Ruhe

Der in Tabelle 10 wiedergegebene Wert der Ruhedurchblutung aller untersuchten Kinder betrug 5,4 $\bar{+}$ 2,4 ml/min. x 100 ml. Die Abbildungen 9 und 10 stellten die Altersabhängigkeit des peripheren Blutflusses dar. Dieser wies eine signifikante negative (p kleiner als 0,01) Korrelation zum Alter auf. Bei Neugeborenen liegt er bei 6,5 ml/100 ml x min., bei Jugendlichen beträgt er noch um 3 ml/100 ml x min.
Auch der Blutdruck wurde eng mit dem Alter (p kleiner als 0,001) korreliert gefunden, was ja allgemein bekannt ist (Tab. XI).
Die Beziehungen des peripheren Widerstandes zum Alter zeigen eine positive, signifikante Korrelation (p kleiner als 0,01), dargestellt in Abb. 11 und Tabelle XI. Hier liegen die Werte für Säuglinge und Kleinkinder um 20 mmHg/ml x min., die für Jugendliche um 30 mmHg/ml/100 ml x min.

In Ruhe betrug der periphere Widerstand 24,1 $\bar{+}$ 11,3 mmHg/100 ml x min., der Blutdruck 110 $\bar{+}$ 17 mmHg (Tabelle X) für alle praeoperativ untersuchten Kinder.

Die venöse Kapazität war positiv mit dem Alter korreliert (p kleiner als 0,01), wobei Kleinkinder Werte um 1,4 ml/100 ml aufwiesen, Jugendliche Werte um 2,0 ml/100 ml (Abb. 12). Eine hochsignifikante positive Korrelation bestand außerdem zwischen venöser

Kapazität und Venenentleerungsgeschwindigkeit (Abb. 13). Die ebenfalls aus Tabelle XII ersichtlichen Korrelationsverhältnisse von Körpergewicht- und größe zu den gemessenen Parametern entsprachen sowohl hinsichtlich der Größe des Koeffizienten, als auch vom Signifikanzniveau denen des Lebensalters.

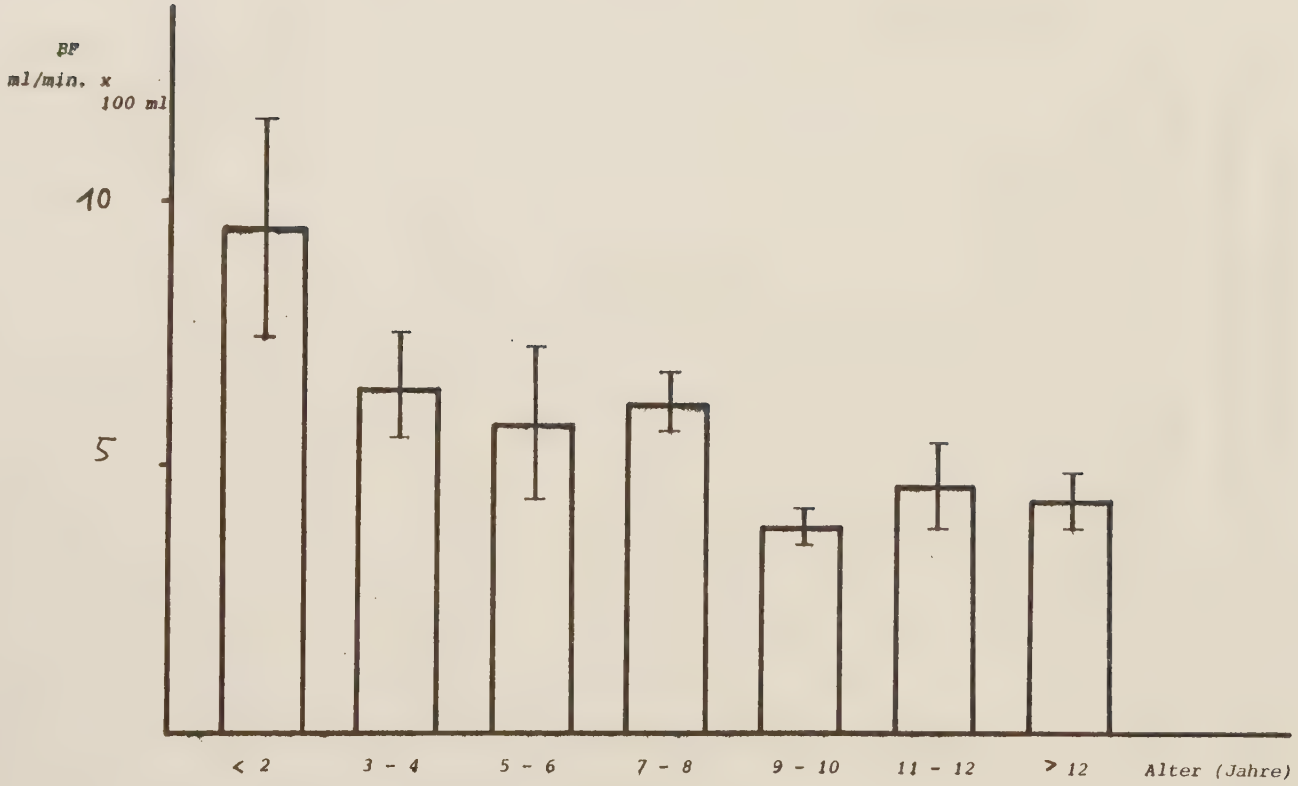

Abb. 9: Normalwerte des peripheren Blutflusses (BF) nach Altersgruppen

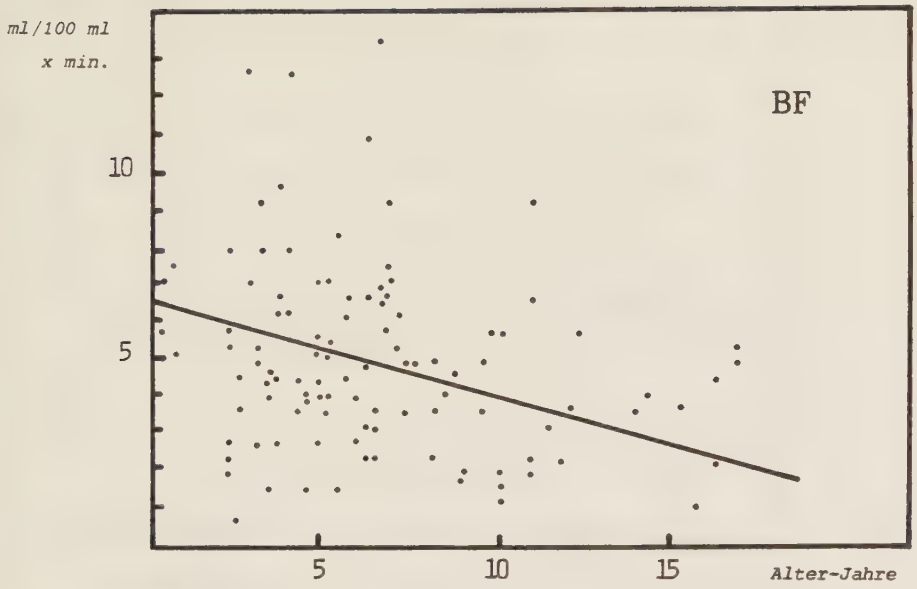

Abb.10: Altersabhängiger Verlauf des peripheren Blutflusses (BF)

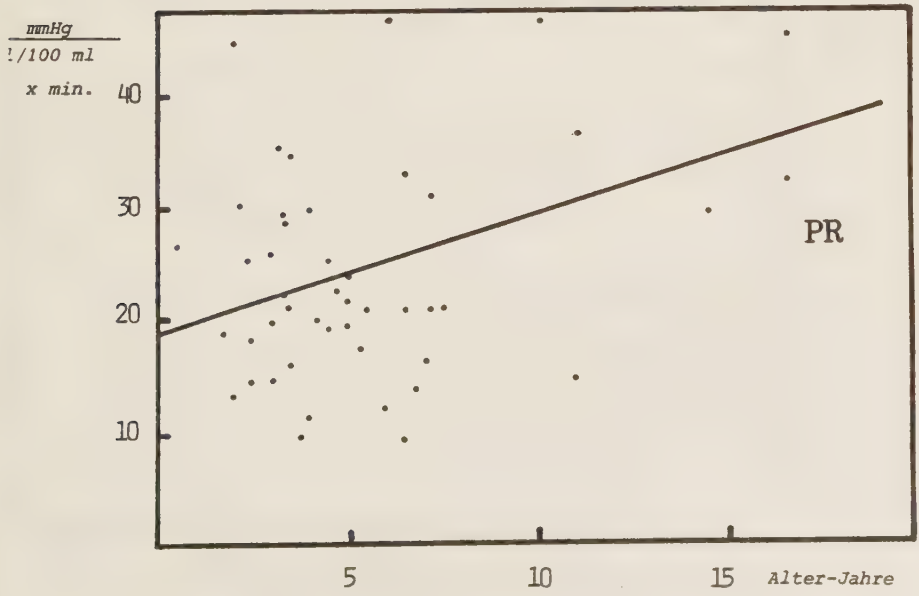

Abb. 11: Altersabhängiger Verlauf des peripheren Widerstandes (PR)

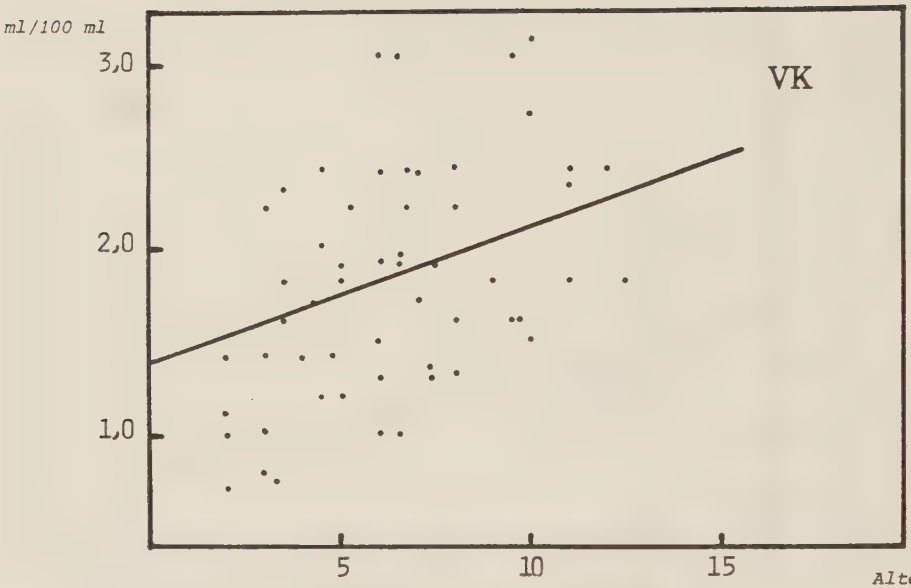

Abb. 12: Altersabhängiger Verlauf der venösen Kapazität (VK)

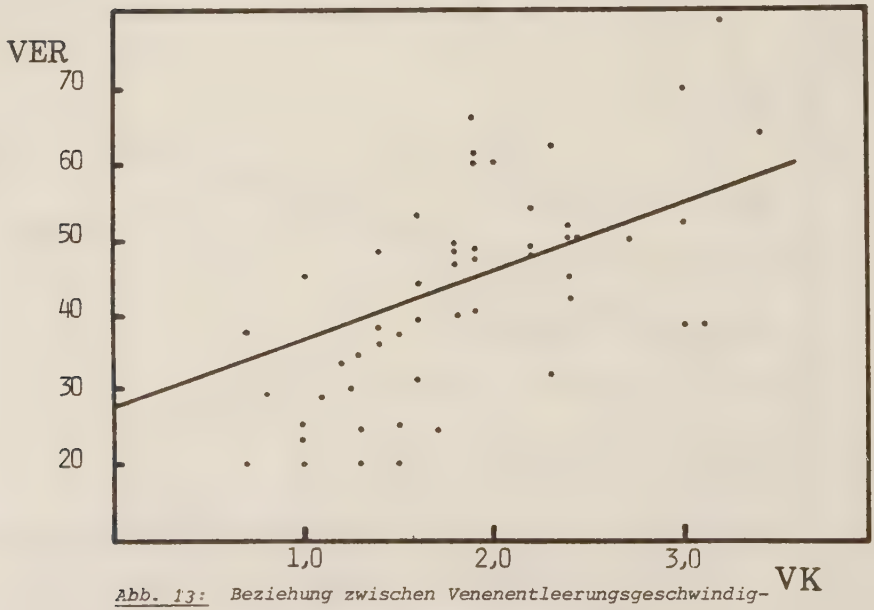

Abb. 13: Beziehung zwischen Venenentleerungsgeschwindigkeit (VER) und venöser Kapazität (VK)

5.3. Perioperative Verlaufsbeobachtung der untersuchten Parameter

Bei der Verlaufsbeobachtung des peripheren Blutflusses (BF) während Operationen (Abb. 14) kommt es bei den Kindern der Gruppe II bei einem Ausgangswert von 5,9 ml/100 ml x min. zu einem nicht signifikanten Anstieg auf 7,4 ml/min. x 100 ml nach Praemedikation. Keine Steigerung des Blutflusses konnte bei der Gruppe III zum Zeitpunkt 2 beobachtet werden.

Erst nach Einleitung der Narkose kam es dann in beiden Gruppen zu einer signifikanten Steigerung des Blutflusses auf 7,7 ml/100 ml x min. in Gruppe II (p kleiner als 0,05) und 7,4 ml/100 ml x min. in Gruppe III (p kleiner als 0,001) bei einem Ausgangswert von 4,2 ml/100 ml x min.

Die höchsten Blutflußwerte wurden unmittelbar nach Intubation mit 9,7 ml/100 ml x min. (II) und 9,8 ml/100 ml x min. (III) gemessen. Auch diese waren signifikant höher (p kleiner als 0,01 und 0,001) als der Ausgangswert.

Danach kehrten die Werte fast wieder auf das Ausgangsniveau zurück und waren somit mit Werten von 6,6 ml/100 ml x min. in Gruppe II und 4,3 ml/100 ml x min. in Gruppe III nicht wesentlich von diesen zum Zeitpunkt ca. ein Drittel der Operation unterschieden.

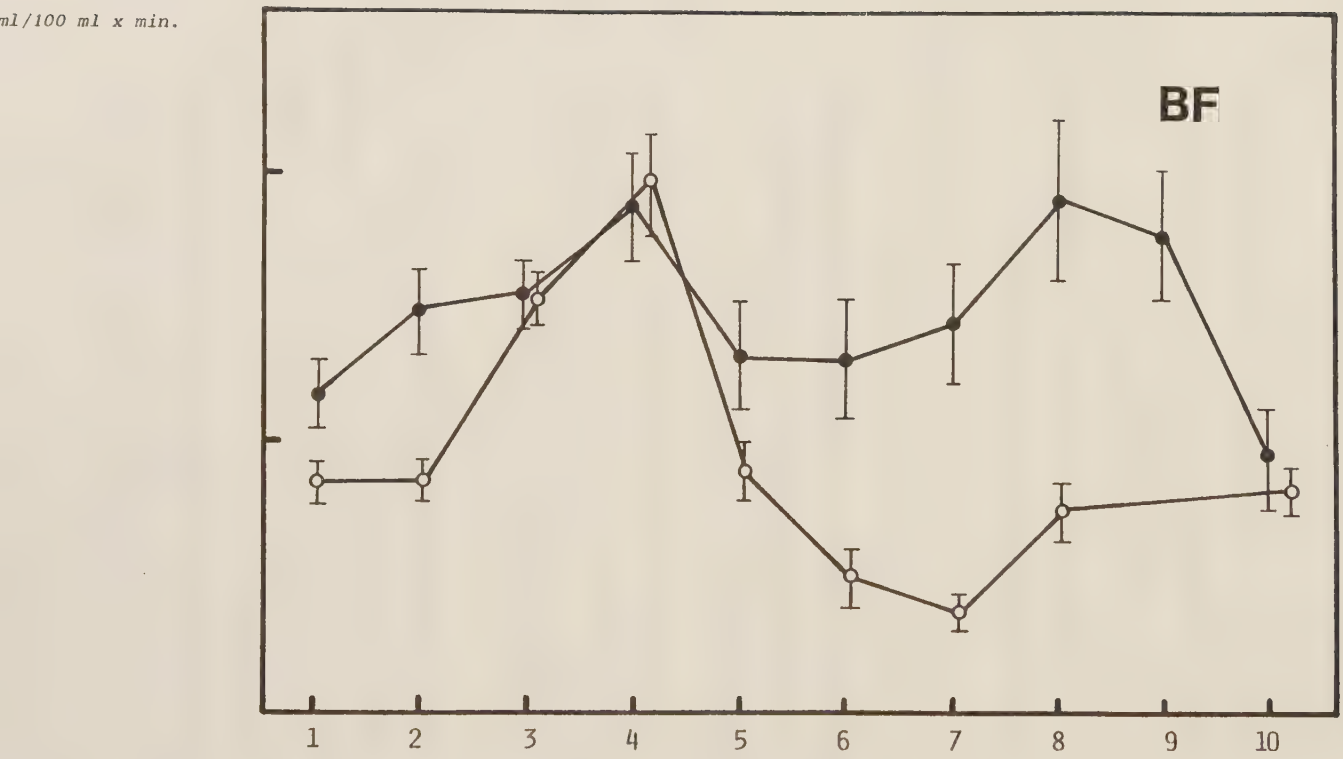

Abb. 14: Verlauf des Blutflusses (BF) der Gruppe II (Punkte) und Gruppe III (Kreise) zu den jeweiligen Zeitpunkten

Nach ca. zwei Drittel der Operationsdauer änderte sich das Bild dahingehend, daß der Blutfluß in Gruppe III weiter konstant blieb, sich jedoch in Gruppe III um 42 % auf 2,4 ml/100 ml x min. signifikant (p kleiner als 0,01) erniedrigte.

Zu einer weiteren deutlichen, diesmal hoch signifikanten (p kleiner als 0,001) Abnahme des peripheren Blutflusses kam es dann direkt postoperativ mit einem Wert von 1,7 ml/100 ml x min. in Gruppe III, was einem Abfall von 60 % entspricht. In Gruppe II war ein geringfügiger Anstieg auf 7,4 ml/100 ml x min. zu verzeichnen.

Im weiteren postoperativen Verlauf näherten sich die Werte der Gruppe III wieder dem Ausgangsniveau. 3 Stunden postoperativ betrug er wieder 3,6 ml/100 ml x min. und 24 Stunden postoperationem 4,8 ml/100 ml x min., beides im Vergleich zum Ausgangswert nicht signifikant unterschiedlich.

In Gruppe II war ein postoperativer Anstieg der Durchblutung auf 9,6 ml/100 ml x min. (3 Stunden),(p kleiner als 0,01) zu beobachten. Nach 6 Stunden fiel er wieder ab, um nach 24 Stunden sich mit einem Wert von 4,8 ml/100 ml x min. nicht signifikant vom Ausgangsniveau zu unterscheiden.

Bemerkenswert erscheint außerdem, daß in Gruppe II während der eigentlichen Operationszeit (Zeitpunkt 5 - 7) keine nennnenswerte Unterschiede der Durchblutung der Extremitäten auftrat, es jedoch zu

einem signifikanten postoperativen Anstieg kam (siehe oben). Die Kinder der Gruppe III reagierten jedoch auf die oben genannten anderen Bedingungen mit einem hochsignifikanten Blutflußabfall (Zeitpunkte 5/6: p kleiner als 0,01, Zeitpunkte 5/7: p kleiner als 0,001) während der Operationen. Beide Gruppen kehrten jedoch bei grundsätzlich unterschiedlichem (Test auf Parallelität der Verläufe auf dem 5 %-Niveau signifikant) Verlauf nach 24 Stunden zum Ausgangsniveau zurück.

Der statistische Vergleich der Gruppen II und III untereinander zu einzelnen Untersuchungszeitpunkten zeigte bei unterschiedlichem Ausgangsniveau (Zeitpunkt 1: p kleiner als 0,01) hochsignifikante Unterschiede des Blutflusses: Zeitpunkt 6: p kleiner als 0,001; Zeitpunkt 7: p kleiner als 0,001; Zeitpunkt 8: p kleiner als 0,001. Zu den sonstigen Zeitpunkten ähnelt sich der Verlauf weitgehend (Zeitpunkt 9 nicht vergleichbar). Hier gab es keine signifikanten Unterschiede.
Auch die Mittelwerte der einzelnen Untersuchungszeitpunkte der an Leukämie erkrankten Kinder (siehe Abb. 16) unterschieden sich zu keinem Zeitpunkt mit ihrem peripheren Blutfluß von denen der Gruppe III, jedoch in identischer Weise von der Gruppe II wie diese wiederum von Gruppe III.

Der Verlauf des Blutflusses in den einzelnen Altersgruppen in Ruhe und Narkose ist in Tabelle IX und Abb. 17 dargestellt. Auch hier zeigt sich

also ein siginifikant (p kleiner als 0,01) unterschiedliches Verhalten: Der Blutfluß in Narkose ist in allen Gruppen höher.

Bei den untersuchten Säuglingen (Abb. 15) konnte ein dem der Gruppe II vergleichbarer Verlauf im Blutflußverhalten beobachtet werden. Der Ausgangswert lag mit 10,3 ml deutlich über dem der anderen Gruppen. Zu allen anderen Zeitpunkten kam es dann zu entsprechenden Veränderungen mit einem maximalen Durchschnittswert von 24,2 ml/100 ml x min. zum Zeitpunkt 4. Wegen des geringen Stichprobenumfanges wurde auf eine statistische Auswertung verzichtet.

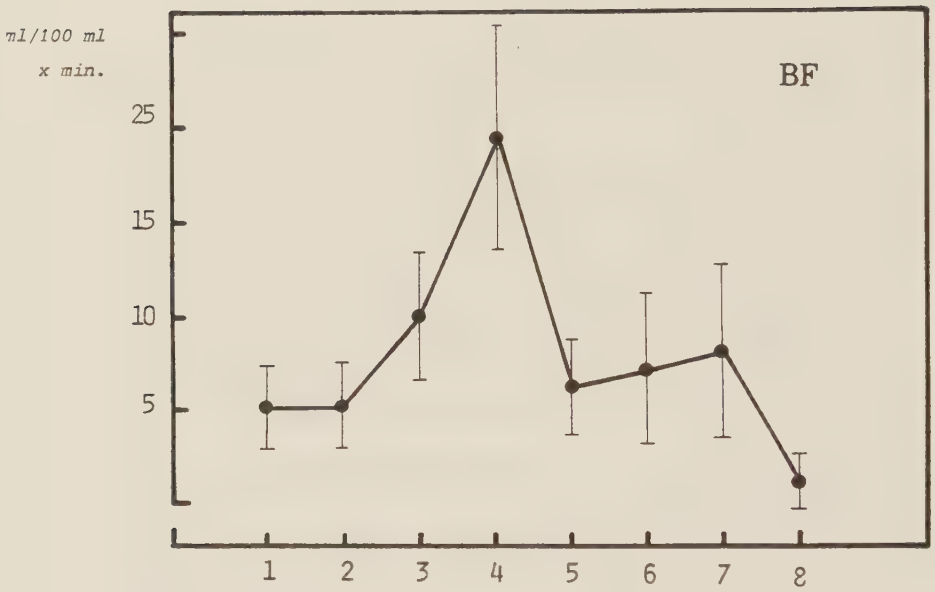

Abb. 15: Verlauf des Blutflusses der Gruppe I zu den jeweiligen Zeitpunkten

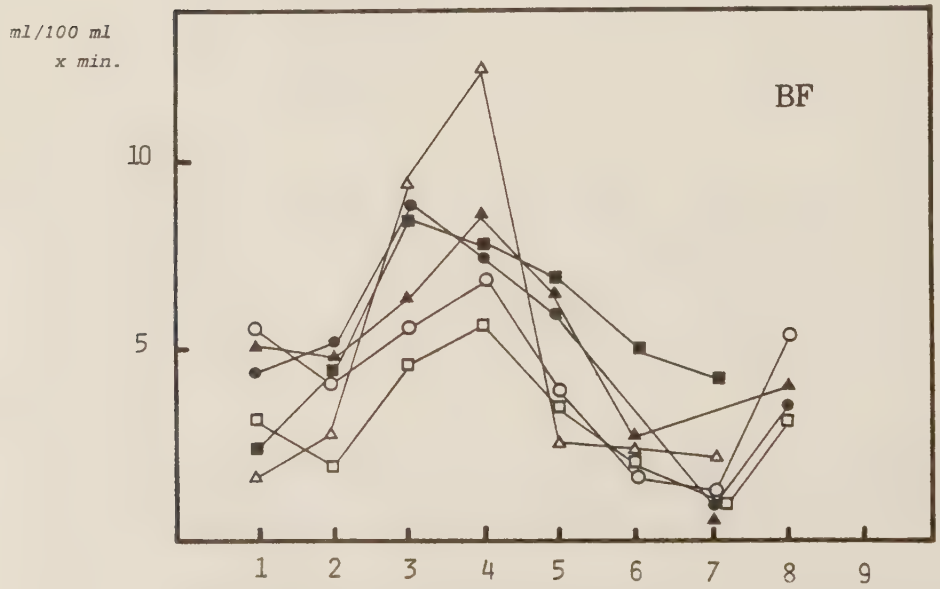

Abb. 16: Verlauf des Blutflusses der an Leukämie erkrankten Kinder in Einzeldarstellung

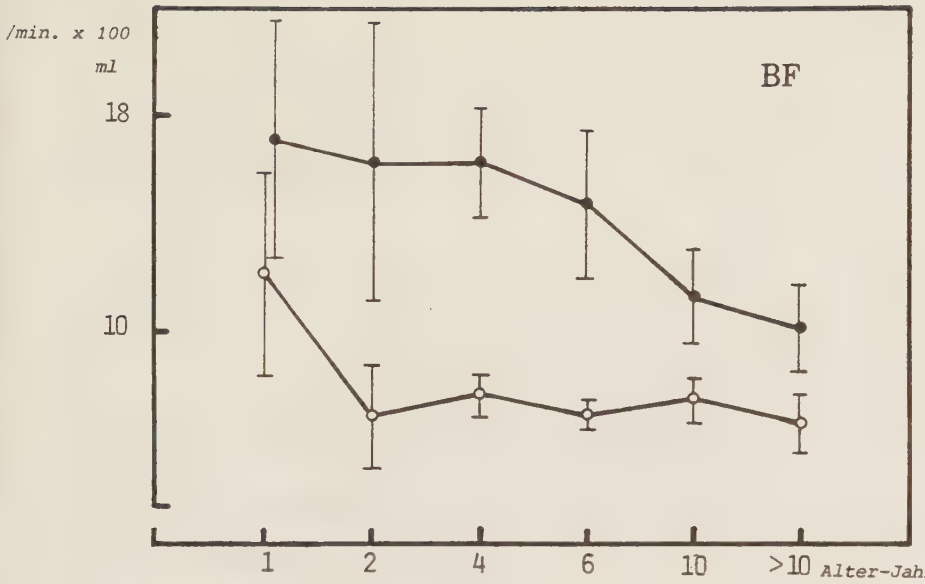

Abb. 17: Blutfluß (BF) in Ruhe (Kreise) und Narkose (Punkte) im Vergleich, nach Altersgruppen

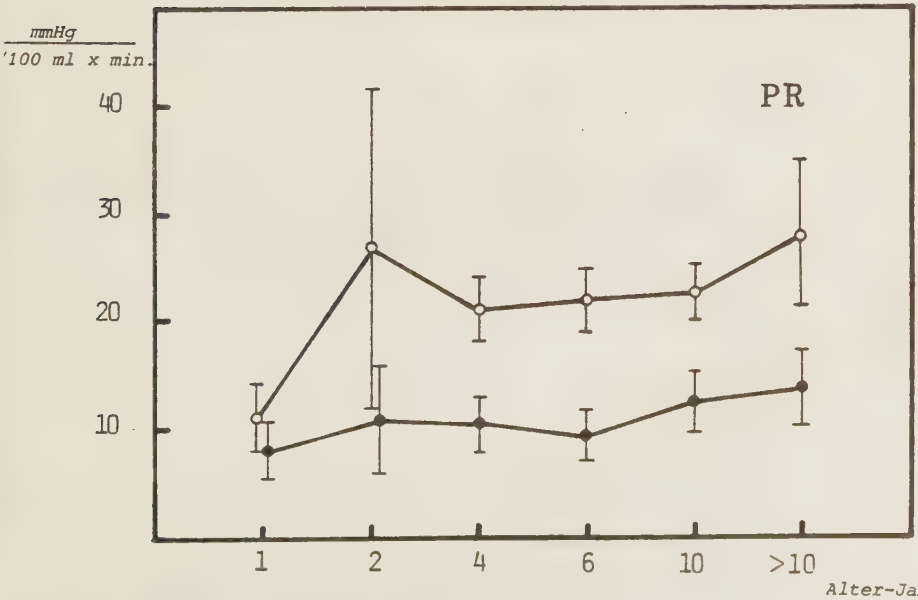

Abb. 18: peripherer Widerstand (PR) in Ruhe (Kreise) und Narkose (Punkte) im Vergleich, nach Altersgruppen

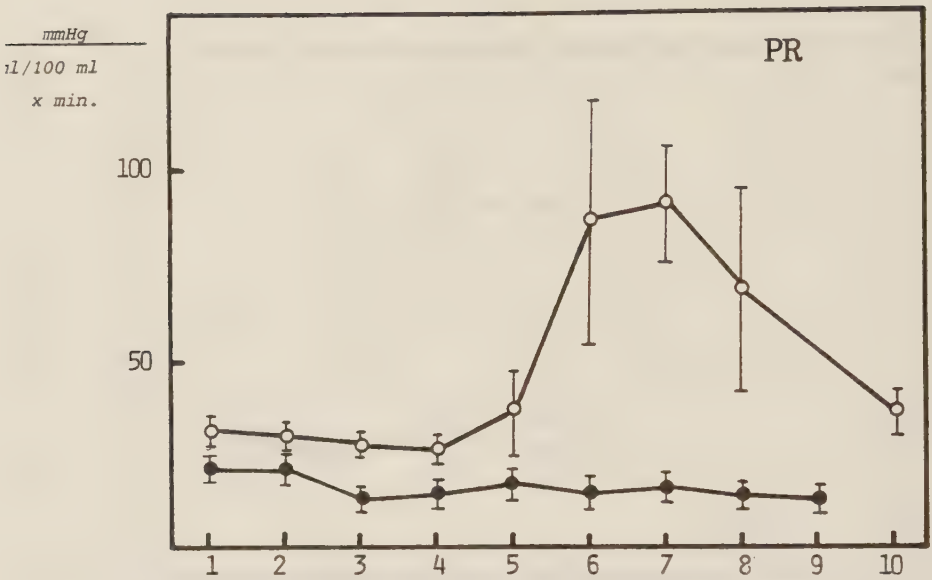

Abb. 19: Verlauf des peripheren Widerstandes der Gruppe II (Punkte) und der Gruppe III (Kreise) zu den jeweiligen Zeitpunkten

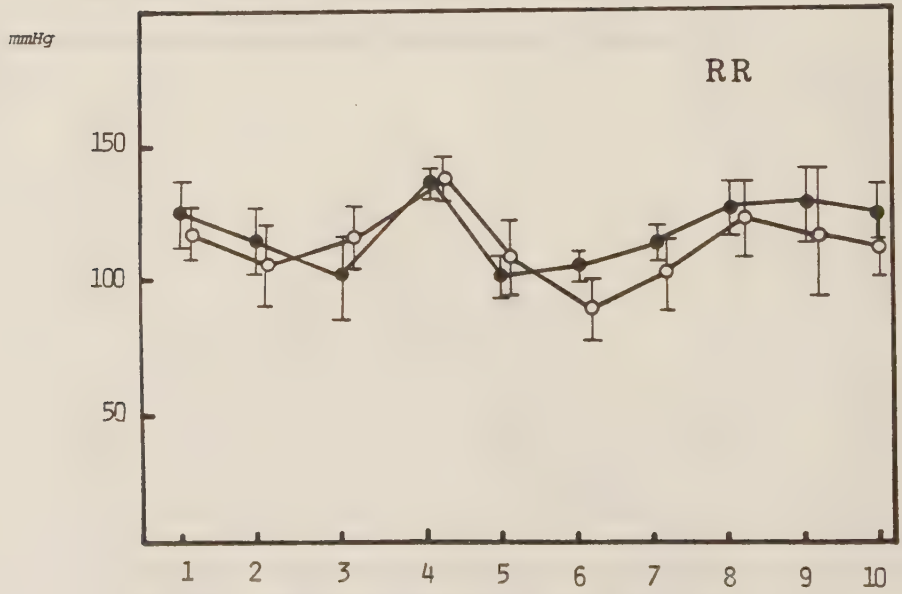

Abb. 20: Verlauf des Blutdruckes (RR der Gruppe II (Punkte) und der Gruppe III (Kreise) zu den jeweiligen Zeitpunkten

Bei der Verlaufsbeobachtung (Abb. 20) während Operationen konnte beim Blutdruck zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied zu den jeweiligen Zeitpunkten zwischen Gruppe II und III gefunden werden.

Bei Kindern aus Gruppe II gab es signifikante Veränderungen zum Ausgangswert von 124 mmHg (alle im Nachfolgenden angegebenen Werte sind systolische Blutdruckwerte) in Ruhe zu den Untersuchungszeitpunkten 3 mit einer Erniedrigung auf 101 mmHg (p kleiner als 0,01) und Zeitpunkt 5 auf 99 mmHg (p kleiner als 0,01). Im Vergleich der Mittelwerte gab es keine weiteren statistisch signifikanten Veränderungen. Die höchsten Blutdruckwerte werden nach Intubation (Zeitpunkt 4) gefunden, die niedrigsten nach ca. einem Drittel der Operation.

Bei den Kindern aus Gruppe III gab es signifikante Änderungen zum Ausgangswert von 115 mmHg in Ruhe zu den Untersuchungszeitpunkten 4 auf 137 mmHg, der gleichzeitig der höchste gefundene Durchschnittswert war (p kleiner als 0,001) und Zeitpunkt 6 mit 87 mmHg eine maximale Erniedrigung des Blutdruckes (p kleiner als 0,001). Auch zum Zeitpunkt 7 war er noch deutlich auf 100 mmHg abgesunken (p kleiner als 0,01).

Für den peripheren Widerstand wurde bei der Verlaufsbeobachtung (Abb. 19) in Gruppe II keinerlei signifikante Unterschiede zum Ausgangswert gemessen. In der III. Gruppe hingegen kam es besonders in der operativen Phase zu hochsignifikanten Steigerungen auf 87,6 mmHg/ml/100 ml x min. (Zeitpunkt 6, p kleiner als 0,01) und 91,4 mmHg/ml/100 ml x min. (Zeitpunkt 7, p kleiner als 0,001) bei einem Ausgangswert von 31,1 mmHg/ml/100 ml x min.

Nach Narkoseeinleitung und Intubation hingegen erniedrigte er sich jeweils signifikant (p kleiner als 0,001). Auch hier kam es nach 24 Stunden zu einer annähernden Rückkehr zum Ausgangswert. Die an Leukämie erkrankten Kinder verhielten sich vergleichbar mit Ausnahme von Zeitpunkt 6, wo keine signifikanten Änderungen des Widerstandswertes eintraten (Tabelle VI). Im Vergleich der Altersgruppen war der periphere Widerstand in Ruhe signifikant,gegenüber dem in Narkose erhöht (p kleiner als 0,01, Abb. 19).

Im Vergleich der Gruppen II und III war beim Blutdruck nur zum Zeitpunkt 6 ein signifikanter Unterschied (p kleiner als 0,01) zu beobachten. Der periphere Widerstand der Gruppen unterschied sich zu den Zeitpunkten 5, 6 und 7 nur mäßig signifikant. Auch zum Zeitpunkt 8 bestand ein signifikanter Unterschied (p kleiner als 0,01), wobei die Werte aus Gruppe III jeweils höher lagen mit einer maximalen Differenz zum Zeitpunkt 7:16,4 mmHg/ml/100 ml x min. (II) und 91,4 mmHg/ml/100 ml x min. (III) (siehe Abb. 20).

Abb. 21 veranschaulicht noch einmal das Verhalten von Blutfluß, peripherem Widerstand und Blutdruck in Ruhe und Narkose (PF p kleiner als 0,05, PR p kleiner als 0,01, siehe Tabelle VII). Der Blutdruck veränderte sich nicht signifikant.

Der praeoperative Wert betrug für die VK 2,0 ± 2,0 ml/100 ml und postoperativ 1,4 ± 0,5 ml/100 ml, was keinen signifikanten Unterschied darstellte. Ebenso verhielt es sich bei der VER mit einem praeoperativen Wert von 43,4 ± 14,2 ml/100 ml x min., postoperativ 36,3 ± 14,7 ml/100 ml x min. (Tab. VIII, X).

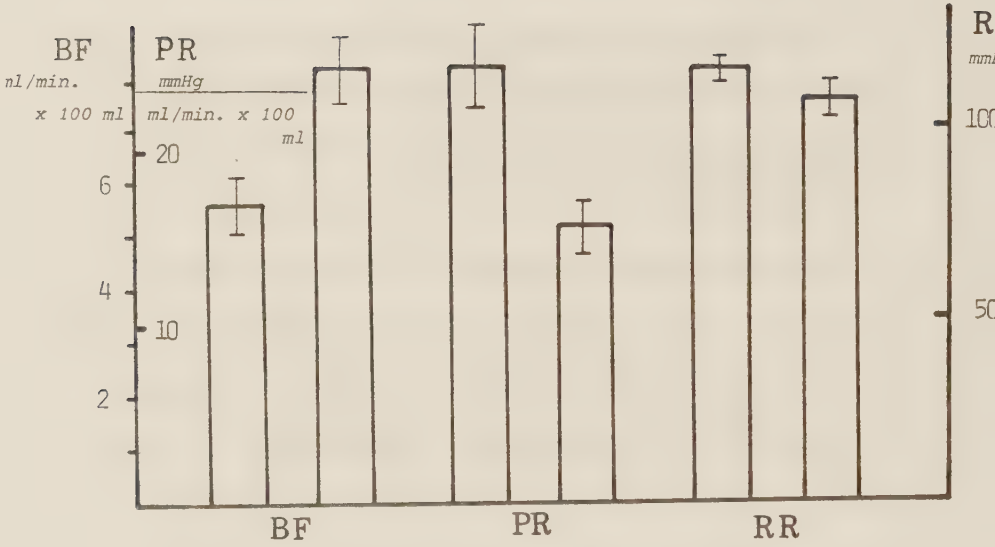

Abb. 21: *Blutfluß (BF), peripherer Widerstand (PR) und Blutdruck (RR) in Ruhe und Narkose (alle praeoperativ untersuchten Kinder)*

6. DISKUSSION

Da zur Messung des peripheren Blutflusses voneinander sehr verschiedene Methoden (siehe Kapitel 2) zur Anwendung kommen, schwanken erwartungsgemäß die gefundenen Werte erheblich. Die derzeit anerkannt verläßlichste Methode stellt die Dehnungsmeßstreifen-Venenverschlußplethysmographie dar (11, 35, 39).

Der in der vorliegenden Untersuchung gefundene Mittelwert des Blutflusses von 5,4 $\bar{+}$ 2,4 (Tabelle X) deckt sich sowohl quantitativ wie auch in seiner Schwankungsbreite mit denen der Literatur. Eine Zusammenstellung hierüber wurde in Tabelle XIII gegeben. Die in Abb.10 gegebene Darstellung seiner Beziehung zum Lebensalter vereinfacht die Verhältnisse durch Darstellung in linearer Regression. Der Zusammenhang läßt sich wohl am besten durch einen asymptotischen oder eingipfligen Kurvenverlauf darstellen, wozu allerdings erheblich größere Stichprobenumfänge benötigt werden. Die Werte bei Jugendlichen nähern sich den bei Erwachsenen gefundenen (40, 73, 77). Die Abhängigkeit vom Alter deckt sich ebenfalls mit den von den Autoren (Tab. XIII) gefundenen Werten der genannten Parameter. Körpergröße und Gewicht waren gleichsinnig mit dem peripheren Blutfluß korreliert (Tab. XII). Die Variationsbreiten sind hier wie in Kapitel 3.1. beschrieben erwartungsgemäß etwas geringer. Da die Unterschiede jedoch nur minimal sind, kann man die angewandte Methode als durchaus geeignet für Untersuchungen an Kindern bezeichnen (17). Besonders bei den Verlaufsbeobachtungen in Narkose traten einige Störfaktoren deutlich in den Hintergrund. Die durch motorische Unruhe und emotionelle Faktoren

hervorgerufenen Veränderungen der peripheren arteriellen Durchblutung traten jetzt nicht mehr in Erscheinung (13, 50, 69).

Bei den Untersuchungen in Ruhe (praeoperativ) war es bei den Ein- bis Vierjährigen gelegentlich unmöglich, verläßliche und reproduzierbare Meßwerte zu gewinnen (59). Hierbei spielte sowohl die Bewegungsunruhe, als auch der psychische Streß und dessen Einfluß auf die Durchblutung eine große Rolle.

Der Einfluß der Umgebungstemperatur wird wohl im allgemeinen überschätzt und hat nur bei Früh- und Neugeborenen einen nennenswerten Einfluß (8, 80). Dies zeigte sich auch durch die extrem kleine Schwankungsbreite der lokal am Unterschenkel gemessenen Hauttemperatur. Bei im Hochsommer in nicht genügend klimatisierten Operationssälen durchgeführten Untersuchungen erscheint eine gewisse Vorsicht geboten, da hier gelegentlich Temperaturen erreicht werden, die den Rahmen der in der vorliegenden Arbeit gegebenen Bedingungen sicher sprengen und so dann doch noch als Störgröße betrachtet werden müßten. Auch eine gewiße physiologische circadiane Schwankungsbreite spielt noch eine, wenn auch untergeordnete, Rolle (6, 84).

Bei den Messungen nach Praemedikation mit Thalamonal und Atropin kam es in beiden Gruppen zu keinem signifikanten Anstieg der peripheren Durchblutung. Andere Autoren (64)

berichten, daß es durch zentrale Sympaticusdämpfung durch den enthaltenen Wirkstoff Dehydrobenzperidol (DHB) und Alpharezeptorenblockade (1) zum Blutflußanstieg durch Erweiterung der Gefäße kommt.

Die signifikanten Durchblutungssteigerungen nach Einleitung der Narkose durch ein injizierbares Barbiturat und direkt nach Intubation in beiden Gruppen läßt sich am ehesten durch eine mögliche Carotis-sinus-Erregung erklären. So kommt es im Exzitationsstadium zum Durchlaufen einer Phase, die mit reflektorischer Übererregbarkeit vornehmlich im Halsgebiet einhergeht und so zu der beobachteten Steigerung des Blutflusses führen könnte. Auch Lindström (57) fand einen signifikanten Anstieg der peripheren Durchblutung nach Einleitung der Narkose mit einem injizierbaren Kurzzeitbarbiturart. Bei der Intubation ist eine direkte mechanische Beeinflussung der Baroreceptoren und der vegetativen, für die Kreislaufregulation zuständigen, nervalen Strukturen denkbar (51, 52, 60, 82). Hierdurch wird der tonische Einfluß der sympathischen vasokonstriktorischen Fasern reduziert, d. h. der Vasomotorentonus nimmt ab, was zu einer Dilatation der Kapazitäts- und Widerstandsgefäße führt (6, 29, 30, 61). Ein weiterer Erklärungsversuch könnte die von anderen Autoren (81) gefundene - in direktem Zusammenhang mit dem Intubationsvorgang stehende - Erhöhung der Catecholaminausschüttung darstellen. Wegen des bekannten schnellen Substanzabbaus und Umverteilung der Barbiturate ins Fettgewebe (53)

und der nur kurz andauernden mechanischen lokalen Irritation durch die Intubation kam es dann zu einer Rückkehr der Durchblutungswerte etwa auf das Ausgangsniveau in beiden Gruppen.

Im weiteren Verlauf zeigte sich ein grundsätzlich unterschiedliches Verhalten der vergleichbaren Gruppen. Während der eigentlichen Operation blieb die Durchblutung in Gruppe II weitgehend gleich. In Gruppe III hingegen zeigte sich eine deutlich verminderte Extremitätendurchblutung vor allem gegen Ende der Operation. Der Durchblutungsabfall war zum Zeitpunkt 7 hochsignifikant und erreichte einen Durchschnittswert von $1{,}7 \pm 1{,}1$ ml/100 ml x min. bei den Kindern, die sich längeren und traumatisierenderen Operationen unterziehen mußten. Dies kann zum einen durch eine schocktypische,über die Pressoreceptoren vermittelte Reaktion bei Hypovolämie erklärt werden, es kann sich aber auch um eine metabolische Reizung des Vasomotorenzentrums über Catecholaminausschüttung (23) zur peripheren Minderdurchblutung führenden Reaktionen des Organismus auf das traumatisierende Ereignis handeln. Das in Bezug auf die Kreislaufregulation hier tätige System zur Aufrechterhaltung der Homoiostase schien im Gegensatz zum Verhalten des Blutflusses der Kinder der Gruppe II überfordert, bzw. die physiologischen Verhältnisse wiederzuspiegeln, wobei ja der peripheren Vasokonstriktion, die mit Verminderung des Blutflusses und Erhöhung

des peripheren Widerstandes einhergeht (siehe unten) die Rolle der Aufrechterhaltung eines ausreichenden Perfusionsdruckes der lebenswichtigen Organe zukommt.

Drei Stunden nach den jeweiligen operativen Eingriffen war es in Gruppe III bereits wieder zur Erholung der Kreislaufsituation gekommen. Ebenso wie 24 Stunden postoperationem unterschieden sich die Mittelwerte nicht mehr signifikant von den praeoperativen Werten.

In Gruppe II hingegen kam es postoperativ zu einem Verhalten der Extremitätendurchblutung, das man vielleicht mit dem Begriff Überkompensation bezeichnen kann und möglicherweise eine unerwünschte Wirkung des Inhalationsnarkotikums Halothan darstellt. Hierunter nimmt nämlich der periphere Gesamtwiderstand der Gefäße deutlich ab (46, 52, 89). Die einzelnen Gefäßgebiete werden jedoch unterschiedlich beeinflußt, so werden z.B. die Haut und Skelettmuskelgefäße dilatiert. Im Splanchnicusgebiet hingegen kommt es zu einer reflektorischen Widerstandserhöhung (9). Auch eine Abnahme des Herzzeitvolumens unter Halothan ist bekannt. Die Vasomotorenzentren des Zentralnervensystems werden zudem gehemmt, was zu verminderter efferenzter sympathischer Aktivität führt. Durch eine Sensibilisierung der Baroreceptoren (4) kommt es zu

erhöhter Entladungsrate, wodurch medulläre Kreislaufzentren gehemmt werden, was zu einer zusätzlichen Verminderung der sympathischen efferenten Impulse führt (67).

Gegensinnig wird die parasympathische Aktivität gesteigert. Aus all diesem Gesagten resultiert eine arterielle Hypotension bei vermindertem peripheren Widerstand und erhöhter peripherer Durchblutung von Haut und Extremitätenmuskulatur. Daß es in Gruppe III dennoch zu einer Verminderung der peripheren Durchblutung kommt, zeigt, daß die physiologischen Mechanismen hier deutlich überwiegen, um eine für den Gesamtorganismus bedrohliche Situation abzuwenden. Browse (15) fand ein vergleichbares Verhalten des peripheren Blutflusses insbesondere in Bezug auf die Stärke des Operationstraumas und die Operationsdauer. Die Normalisierung der Durchblutung erfolgte jedoch im allgemeinen erst nach einer längeren postoperativen Beobachtungsdauer (bis zu 10 Tagen), was vermutlich mit dem Alter der untersuchten Probanden zusammenhängt (17 - 75 Jahre).

Clarke and Cotton (22) fanden bei Untersuchung des venösen Rückflußes in den Extremitäten, daß es nach Narkoseeinleitung mit einem Thiobarbiturat zu einer Verminderung dieses auf ca. ein Drittel kam. Postoperativ trat eine schnelle Normalisierung ein.

Das in Abbildung 16 dargestellte Verhalten der an Leukämie erkrankten Kinder während der operativen Knochenmarksentnahme zeigte ein dem der Gruppe III entsprechendes Verhalten. Dieses kann wegen des difinierten Operationstraumas und Blutverlustes als Modell dienen.

Der Vergleich des Blutflusses in Ruhe und Narkose (Abbildung 17) unterstreicht die oben gemachten Ausführungen: auch hier konnte ein signifikanter Anstieg der peripheren Durchblutung in Narkose (vor Op.-Beginn) beobachtet werden. Dieses konnte in allen Altersgruppen bestätigt werden.

Auf eine Darstellung des in Ruhe eng mit dem Alter korrelierten Blutdruckes wurde verzichtet. Dieses ist allgemein bekannt. Der periphere Widerstand steigt mit dem Alter (20). Der totale periphere Widerstand (TPR) wird zu 47 % von den terminalen Arterien und Arteriolen, zu 27 % von den Kapillaren und 19 % den großen Arterien aufgebracht. Venen (3 %) und Venolen (4 %) stellen nur einen verschwindend geringen Anteil (87). Die Gefäßreaktionen der an der Regulation des TPR hauptsächlich beteiligten Widerstandsgefäße (Arterien und Arteriolen) beruhen teilweise auf nervösen (6, 29, 82) Einflüssen oder humoralen (13, 18, 23, 83, 84) Faktoren, teilweise auch auf lokalen Mechanismen. Häufig sind mehrere Faktoren gleichzeitig beteiligt und wirken synergistisch,

gelegentlich aber aber antagonistisch auf den Gefäßtonus ein. Das weite Thema der Physiologie der Kreislaufregulation soll hier nur soweit angeschnitten werden, wie es für die getätigten Untersuchungen notwendig erscheint. Eine Gesamtübersicht bietet Abbildung 22.

Da die Registrierung der Blutdruckwerte vornehmlich der Errechnung des peripheren Widerstandes diente, soll auf deren perioperativen Verlauf hier nur am Rande eingegangen werden. Die Aufrechterhaltung ausreichender Durchblutung der einzelnen Organe und Systeme ist die Zielgröße aller homoiostatischen Kreislaufmechanismen, wobei dem arteriellen Blutdruck eine Schlüsselrolle zukommt. Das Bestreben des Organismus,diesen weitgehend konstant zu halten, spiegelt sich auch in den Ergebnissen dieser Arbeit wieder: signifikante Änderungen des Blutdrucks gab es in Gruppe II nur zum Zeitpunkt 3 und 5 im Vergleich zum Ausgangswert, wobei es sich um einen Abfall handelte. Bei leicht angestiegenem peripheren Blutfluß kann dieses nur durch einen erniedrigten peripheren Widerstand zu Stande gekommen sein, was aus Abbildung 19 ersichtlich ist. Keine der letztgenannten Veränderungen war jedoch signifikant.

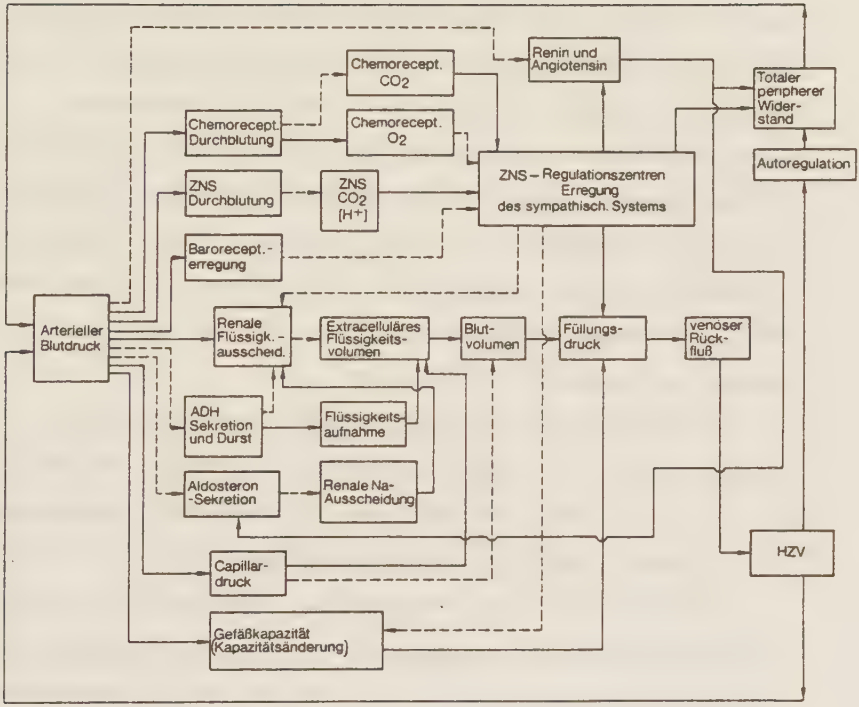

Abb. 22: *Blockschema der wichtigsten Faktoren für die Regulation des arteriellen Druckes.*
Durchgezogene Linien: fördernde Wirkung
Gestrichelte Linien: hemmende Wirkung
(aus Schmidt/Thews, 72)

In der Gruppe III der untersuchten Kinder zeigt sich, daß eine Blutdrucksteigerung nach endotrachealer Intubation wohl in Verbindung mit gefallenem peripheren Widerstand zu der beobachteten starken Erhöhung des Blutflusses geführt hat. Ob es sich um eine temporäre Reaktion im Sinne eines sogenannten Entzügelungshochdruckes durch lokale nervale Irritation handelt, muß offen bleiben. Im weiteren Verlauf kam es dann zu den Zeitpunkten 6 und 7 zu einem signifikanten Blutdruckabfall um 25 bzw. 13 % in dieser Gruppe, was wiederum die oben gemachten Ausführungen unterstreicht. Kompensatorisch stieg der periphere Widerstand um 182 % bzw. 200 % deutlich an. Postoperativ unterschieden sich die Mittelwerte von Blutdruck und peripherem Widerstand beider Gruppen nicht mehr signifikant, was auch hier die schnelle Erholung der operierten Kinder anzeigt.

Die Verlaufsbeobachtung der Gruppe II in Bezug auf den peripheren Widerstand zeigt, daß es hier zu keinerlei nennenswerten Veränderungen kam. Die Reaktion der Kinder der Gruppe III wurde bereits oben betrachtet.

Zusammenfassend ergibt sich aus dem Dargelegten, daß der periphere Blutfluß in erster Linie vom totalen peripheren, durch die Arteriolen kontrollierten, Widerstand abhängig ist und die Höhe des Blutdruckes nur eine nachgeordnete Rolle spielt. Dies deckt sich mit den Untersuchungen von Kondo et al. (49) an Hunden. Diese beobachteten jedoch abweichend, daß es zu keiner Beeinflussung des Blutdruckes durch die Anästhesie kam.

Die von anderen Autoren getätigten perioperativen Untersuchungen von Kreislaufparametern beschränkten sich bisher auf Erwachsene und den Effekt von gefäßchirurgischen und abdominellen Eingriffen sowie dem venösen Rückfluß (12, 15, 16, 22, 30, 49, 57, 58, 68). Wegen des unterschiedlichen Patientengutes, der variierenden Beobachtungszeitpunkte, der differenten Narkosemethoden und verschiedenartigen Methoden zur Bestimmung der Kreislaufparameter lassen diese Beobachtungen keinen direkten Vergleich zu. Gegenstand weiterführender Untersuchungen sollte in erster Linie die Differenzierung des Einflusses verschiedener Narkosearten sein, da sich hier große Unterschiede abzeichnen. Hierbei muß auf Elimination anderer Einflußgrößen (z.B. ausgedehnte abdominelle Operationen und ihre beschriebenen (30, 68) Effekte) geachtet werden.

Die positive Korrelation der venösen Kapazität mit dem Alter war aufgrund der physiologischen Entwicklung des Venensystems mit dem Lebensalter vorauszusehen. Dies deckt sich auch mit den Literaturangaben. Beim Erwachsenen werden Werte um 3,4 ml/100 ml gefunden (70, 71). Für die positiv mit der venösen Kapazität korrelierten Venenentleerungsgeschwindigkeit betrugen die Werte um 65 ml/100 ml. Die Korrelation venöse Kapazität/Venenentleerungsgeschwindigkeit ist bei Rudolfsky (71) hochsignifikant ($r = 0,72$, p kleiner als 0,001). Bei der eigenen Untersuchung betrug der Korrelationskoeffizient 0,60, p kleiner als 0,001 (siehe Tabelle XI). Gutmann und Krötz (39) belegen die Genauigkeit der verwendeten Methode. Prae- und postoperativ kam es zu keiner signifikanten Änderung der beiden Parameter (Tabelle VIII). Auch Lindström et al. (57) beobachteten dieses.

Außer der beschriebenen signifikanten Beziehung von VER und VK korrelierten die Kreislaufparameter untereinander nicht. Die Beziehung zu den sogenannten somatischen Größen ist aus Tabelle XII ersichtlich.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Arbeit war, den peripheren Blutfluß, peripheren Widerstand, venöse Kapazität und Venenentleerungsgeschwindigkeit an kreislaufgesunden Kindern zu messen und den altersabhängigen Verlauf dieser Parameter darzustellen. Außerdem sollte der Einfluß von operativen Eingriffen auf die genannten Größen untersucht werden.

Untersucht wurden 145 männliche und weibliche Kinder im Alter zwischen 5 Wochen und 16 1/2 Jahren. Ein Teil der Kinder - insgesamt 36 der Vorgenannten - wurden perioperativ zu 10 verschiedenen Zeitpunkten untersucht. Hierbei wurde eine Unterteilung in drei Gruppen getroffen:

I Säuglinge

II Kinder mit geringem Operationstrauma,

III Kinder mit stärkerem Operationstrauma.

In Gruppe III befanden sich sechs an Leukämie erkrankte Kinder, denen zur autologen Reimplantation Knochenmark entnommen wurde.

Es wurde hierbei vor allem die Venenverschlußplethysmographie, die bei den gemachten Untersuchungen zur Anwendung kam, im Vergleich zu den sonst gebräuchlichen Methoden zur peripheren Blutflußmessung und ihre Fehlerquellen, dargestellt.

Der periphere Widerstand wurde als Quotient aus systolischem Blutdruck und peripherem Blutfluß errechnet.

1. *Der gefundene Mittelwert des peripheren Blutflusses von 5,4 $\bar{+}$ 2,4 (n = 107) deckte sich sowohl quantitativ, wie in seiner Schwankungsbreite mit denen in der Literatur (siehe Tabelle XIII).*

2. *Peripherer Blutfluß, peripherer Widerstand und die venöse Kapazität zeigten signifikante Abhängigkeiten zu Alter, Gewicht und Körpergröße (siehe Tabelle XII). Der Blutfluß war hierbei negativ mit den genannten somatischen Werten korreliert, Widerstand und venöse Kapazität hingen positiv (Abb. 9, 10, 11 und 12).*

3. *Die perioperative Beobachtung des Verlaufs der Werte der genannten Parameter zeigte ein im Folgenden dargestelltes Verhalten: nach Praemedikation kam es zu keinem signifikanten Anstieg der peripheren Durchblutung und ebenfalls signifikanten Abfall des peripheren Widerstandes. Erst nach Narkoseeinleitung kam es in den Gruppen II und III zu signifikanten Steigerungen (p kleiner als 0,05 bzw. 0,001). Die höchsten und entsprechend signifikanten (p kleiner als 0,001) Blutflußwerte wurden direkt nach Intubation gemessen.*

Im Vergleich der Gruppen änderte sich das Bild des Blutfluß-verhaltens - was praeoperativ in beiden Gruppen (II und III) weitgehend gleichsinnig war - während der Operation dahingehend, daß es im Gegensatz zu den in Gruppe II gleichbleibenden Werten zu einem erheblichen Abfall des Blutflusses in Gruppe III kam (p kleiner als 0,01).
Die geringsten peripheren Blutfluß- und Widerstandswerte wurden direkt postoperativ in Gruppe III gemessen und unterschieden sich hochsignifikant vom Ausgangswert (p kleiner als 0,001 bzw. 0,01). In Gruppe II hingegen blieben beide Parameter weitgehend gleich und zeigten keine statistisch signifikanten Unterschiede. Der postoperative Anstieg der Blutflußwerte in II war ebenfalls signifikant (p kleiner als 0,01). Bis zum Zeitpunkt 24 Stunden postoperativ unterschieden sich beide Parameter (BF, PR) in beiden Gruppen nicht mehr vom Ausgangswert.

Das klar zu Tage tretende grundsätzlich unterschiedliche Verhalten der beiden Gruppen in Bezug auf die betrachteten Kreislaufparameter war ebenfalls statistisch gesichert (p kleiner als 0,05). Besonders deutlich trat dieses bei der Betrachtung des an Leukämie erkrankten Kinder auf, die relativ konstanten Bedingungen unterworfen waren und so als Modell dienen konnten (siehe Abb. 16). Das Verhalten der untersuchten Säuglinge (Gruppe I) war trotz der nicht möglichen statistischen Sicherung

(geringer Stichprobenumfang) gleichsinnig und unterstrich das Gesamtergebnis.

4. *Die gemessenen Werte von venöser Kapazität (VK = 2,0 $\bar{+}$ 1,0, n = 64) und Venenentleerungsgeschwindigkeit (VER = 43,4 $\bar{+}$ 14,2, n = 58) lassen wegen der bei Kindern noch nicht getätigten vergleichbaren Untersuchungen keinen direkten Vergleich zu, liegen jedoch größenordnungsmäßig erwartungsgemäß deutlich unter denen bei Erwachsenen (siehe Tabelle XIV). VER und VK standen in signifikanter (r = 0,60, p kleiner als 0,001) positiver Korrelation zueinander.*
   Die weiteren untersuchten Kreislaufparameter korrelierten nicht mit den somatischen Größen (Alter, Körpergewicht- und größe).

Die genannten Ergebnisse zeigen, daß operative Eingriffe erheblichen Einfluß auf die Kreislaufsituation von Kindern nehmen. Hierbei spielen Operationsdauer, Blutverlust und das allgemeine Operationstrauma eine entscheidende Rolle. Auch die Narkoseart selbst scheint eine wichtige Rolle zu spielen.

8. TABELLEN

Verwendete Abkürzungen

a	= *y-Achsenabschnitt der Regressionsgerade*
b	= *Regressionskoeffizient*
BF	= *blood flow = peripherer Blutfluß (ml/min. x 100 ml)*
KG	= *Körpergewicht (kg)*
KL	= *Körperlänge (cm)*
LA	= *Lebensalter (Wochen bzw. Jahre)*
n	= *Zahl aller Meßwerte oder Stichproben*
ns	= *nicht signifikant*
OP	= *Operationen*
p	= *Signifikanzniveau*
PR	= *peripheral resistence = peripherer Widerstand (mmHg/ml/min. x 100 ml)*
r	= *Korrelationskoeffizient*
RR	= *Blutdruck (mmHg)*
s	= *Standardabweichung*
SEM	= *standard error of mean*
t	= *Zeit*
Tab.	= *Tabelle*
VER	= *venous emtying rate = Venenentleerungsgeschwindigkeit (ml/min. x 100 ml)*
VK	= *venöse Kapazität (ml/100 ml)*
$\bar{x}$	= *Mittelwert*

Aufgliederung der untersuchten Kinder nach der laufenden Nummer aus Tabelle II - IV

1 - 5	*Säuglinge*	=	*Gruppe I*
6 - 17	*Kinder mit geringfügigem Operationstrauma*	=	*Gruppe II*
18 - 36	*Kinder mit größerem Operationstrauma*	=	*Gruppe III*

Definitionen der in Ziffern angegebenen perioperativen Untersuchungszeitpunkte:

1	*praeoperativ in Ruhe*
2	*nach Praemedikation*
3	*nach Narkose*
4	*nach Intubation*
5	*nach ca. 1/3 der Operation*
6	*nach ca. 2/3 der Operation*
7	*postoperativ*
8	*3 Stunden nach OP*
9	*6 Stunden nach OP*
10	*24 Stunden nach OP*

TABELLE II Einzeldaten der untersuchten Kinder

Nr.	Alter (Wo.)	KG	KL	BF	PR	RR	VK 1	VK 2	VER 1	VER 2
1	4	4,0	55	7,0			1,0		53,0	
2	5	3,9	56	5,8	17,2	100	2,9	0,3	62,4	38,8
3	5	3,2	54	16,0					36,5	
4	7	5,5	56	15,4	7,8	120	1,1			
5	8	5,2	54	7,5	14,7	110				
6	104	12,6	86	2,9	43,1	125	1,1	1,0	28,6	50,7
7	156	14,1	102	8,8	14,7	130	0,8		29,1	
8	169			5,0	28,0	140	0,8		37,5	
9	260	24,2	120	5,5	21,8	120	1,9	1,8	47,2	43,9
10	338	23,5	125	7,0			1,9		66,4	
11	338	29,0	131	7,4	20,3	150	1,9	2,1	40,5	64,2
12	351	21,0	125	8,7	13,2	115	2,4	1,5		48,0
13	364	21,5	132	6,2	16,9	105	1,9	2,0	61,2	55,2
14	390	22,0	120	5,2	21,2	110				
15	468	19,5	123	2,8				1,5	20,7	37,8
16	572	37,0	151	3,1			1,8	1,9	48,0	25,2
17	572	43,0	156	8,7	14,4	125	2,4	2,3	49,6	58,8

18	156	14,5	99	3,6	26,4	95				
19	169	14,5	100	5,0	28,0	140	0,8		37,5	
20	182	16,5	108	3,5	34,3	120	1,6	1,7	31,5	35,6
21	182	6,8	99	6,6	21,2	140	1,8	0,8	40,0	21,4
22	221	21,0	117	2,3	54,3	125	1,7	1,3	24,5	20,0
23	247	14,5	106	3,5			1,4	1,0		
24	247	13,5	102	7,0					38,8	24,4
25	260	18,5	105	5,6	18,8	105	1,2		33,7	
26	277	18,0	117	2,5			2,2	0,7	46,9	
27	299	19,0	113	4,5						
28	312	20,7		2,7	53,0	90	1,0	0,9	25,4	35,0
29	381	22,5		5,2	22,1	115	1,3		34,5	
30	381	25,0		4,3	31,4	135	1,3		24,0	
31	520	40,0	143	2,3	52,2	120	1,5	1,8	25,4	35,6
32	572	23,0	128	2,8	37,5	105				
33	754	52,5	157	4,5	28,9	130		1,9		21,6
34	858	50,0	165	5,0	32,0	160			30,0	18,4
35	858	69,5	181	3,2	45,3	145		1,0	33,8	17,7
36	286			5,0	21,0	105				

TABELLE II Einzeldaten der untersuchten Kinder

Nr.	Alter (Wo.)	KG	KL	BF	VK 1	VER 1
37	104	7,8	70	5,9	1,4	
38	104	11,5	83	5,5	1,0	23,3
39	104			3,6	0,7	
40	156	13,5	95	7,6	2,2	
41	156	13,5	94	5,2	1,4	48,0
42	182	15,0	95	9,1	2,3	63,0
43	234	17,5		5,9	1,2	
44	108	17,5		5,0	1,4	35,6
45	234	20,0		4,9	2,0	60,5
46	234	14,5	102	4,8	2,4	52,5
47	260	22,0	115	7,1	5,4	58,4
48	260	29,0	126	4,2	4,2	
49	286			6,3	6,3	80,0
50	312	22,0	113	3,1	1,3	
51	338	25,0	122	6,7	3,0	37,8
52	312	18,0		3,7	1,9	60,0
53	312	21,0	114	6,7	3,0	70,0
54	351	29,0	121	6,0	2,2	48,0
55	312	27,0	119	5,1	2,4	49,3
56	330	31,5	124	4,3	1,5	37,2
57	338	19,9	123	6,7	1,0	20,7
58	338			7,0	1,9	66,4
59	364	20,0	123	5,6	1,7	49,0
60	416	28,8	134	4,2	1,6	43,9
61	416	26,2	122	5,2	1,3	20,0
62	416	25,8	130	3,2	2,4	41,8

TABELLE II Einzeldaten der untersuchten Kinder

Nr.	Alter (Wo.)	KG	KL	BF	VK 1	VER 1
63	448			4,8	4,2	54,0
64	442	33,0	140	4,4	3,4	64,6
65	468	25,5	124	2,7	1,8	48,9
66	507	30,0	135	5,8	1,6	53,1
67	494	20,0	149	4,3	1,6	39,0
68	494	29,0	136	5,2	3,0	52,2
69	520	23,7		6,0	2,7	49,0
70	520	30,0	144	2,9	3,1	38,4
71	520			2,0	0,4	
72	572	30,0	134	6,5	2,3	32,6
73	611	64,0	166	3,2		
74	650	37,4	172	5,8	1,8	46,3
75	624	41,0	152	4,2	2,4	44,6
76	728	56,0	165	4,2	2,2	
77	832	46,0	162	2,2		19,8
78	884	66,2	178	5,2	4,1	

TABELLE II Einzeldaten der untersuchten Kinder

Nr.	Alter (Wo.)	KG	KL	BF	PR	RR
79	168	14,0	96			95
80	172	16,5	105			
81	200	18,7	107			105
82	4	3,4	50			90
83	8	4,4	55			90
84	148	15,0	98			
85	160	12,0	90			
86	348	22,5	120			100
87	536	33,0	140			
88	344	25,5	125			120
89	252	18,0	108			100
90	192	18,0	108			100
91	4	2,2				
92	248	19,5	112			
93	920					
94	224	17,0	106			105
95	200	14,0	99	7,8	11,5	90
96	300	18,0	119	3,5		
97	540	38,0	145			120
98	112	5,0	58			
99	604	39,0	152	3,7		
100	212	16,0	105			115
101	200	14,0	109			
102	188	18,0	109	11,6	9,4	110
103	92	12,5	90			
104	32	7,2	70	2,6	27,0	70

TABELLE II Einzeldaten der untersuchten Kinder

Nr.	Alter (Wo.)	KG	KL	BF	PR	RR
105	88	11,5	89			
106	336	20,0	129	12,4	8,8	110
107	316	20,0	118	10,0	12,0	120
108	156	15,5	99	5,7	19,3	110
109	328	27,0	125	3,3		
110	172	19,0	107	5,0	22,0	110
111	124	13,0	91	5,0	18,0	90
112	184	19,0	108	6,3	15,9	100
113	220	10,5				
114	324	20,0		3,9	33,3	130
115	244	20,0		5,7	22,0	125
116	336	16,1				
117	96	13,0		5,0	18,0	90
118	188	15,5		6,4		
119	88	13,0	97			
120	160	15,0	112			
121	276	20,5	119	8,1		
122	140	13,5				90
123	212	17,0	107			
124	136	14,0	98			90
125	172	13,5	96			
126	84	13,5	91			90
127	248	16,0	116			
128	108	13,0				90
129	168	13,8	104	4,4	24,4	100
130	124	17,0	98	4,1		

TABELLE II Einzeldaten der untersuchten Kinder

Nr.	Alter (Wo.)	KG	KL	BF	PR	RR
131	212	14,5	109	4,1	29,3	120
132	160	15,0	105			
133	112	14,0	86	3,3	30,3	100
134	168	18,0	92	2,6	34,6	90
135	112	14,7	93			
136	104	13,0	88	7,7	13,0	100
137	220	18,5	107	4,6	19,6	90
138	228	17,0	100	4,5	24,4	110
139	262	18,0	120	4,5	23,3	105
140	284	19,0	108	6,5	17,7	115
141	236	19,0	112	4,4	19,3	85
142	300	19,0	114			
143	136	12,0	87	7,1	14,1	100
144	144	14,5	106			100
145	168	13,0	105			

TABELLE III Blutflusswerte zu verschiedenen Zeitpunkten perioperativ

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,0	9,9	12,7		12,7	9,9	10,0	5,8	8,8	10,0
2	5,8					3,7	3,7	2,6	6,4	3,0
3	16,0	17,1	25,4	42,3	13,4	26,7	28,4	8,5	4,4	8,6
4	15,4	6,8	8,5	12,8	12,0	11,5	11,5			15,4
5	7,5	7,2	13,4	17,6	15,4	8,4	11,0	7,7		4,4
6	2,9	4,1	5,0	4,7	3,4	3,5	5,1	7,5	8,0	3,8
7	8,8	11,5	8,7	8,5	6,5		12,5	15,8	9,0	5,1
8	5,0	4,8	8,5	12,0	4,4	3,7	4,1	7,2		3,0
9	5,5	5,6	8,0	12,8	3,5	5,0	4,7	5,8	12,8	3,8
10	7,0	3,4	9,5	10,3	9,8	11,1	13,8	15,8	9,0	5,1
11	7,4	9,5	12,6	14,7	11,3	13,5	11,1			13,5
12	8,7	8,4	7,7							
13	6,2	3,1	6,2		3,4	3,8	4,0	14,8	23,0	4,8
14	5,2	4,9	7,4	7,0	9,7	10,0	9,0	14,1	15,1	3,7
15	2,8	3,1	4,6	8,7	4,0	5,0	5,0	4,1	6,4	3,8
16	3,1	4,1	5,4		6,0	5,1	5,5	6,1	7,3	3,0
17	8,7	4,6	10,0	8,9	11,0	5,3	5,3	4,9	4,0	3,6
18	3,6	4,0	9,0					2,6		5,3

19	5,0	4,8	8,5	12,0	4,4	3,7	4,1	7,2		3,0
20	3,5	3,8	4,6				2,7			
21	6,6		7,1	14,5			1,2			3,0
22	2,3	5,0	11,0	8,9	2,3			1,4	1,3	2,5
23	3,5	5,3	4,0		0,5	0,5	0,9		4,7	2,4
24	7,0		10,0	8,2			2,4			7,4
* 25	5,6	4,2	5,8	6,9	4,0	1,7	1,3	5,3		5,4
26	2,5	5,8	7,3	13,5	6,1	0,5	0,5			2,3
27	4,5	5,0	7,8					4,3		4,3
* 28	2,7	2,7	9,4	12,5	2,5		2,1			
29	5,2	4,4	10,6	14,7	5,7	3,1	1,0			4,1
30	4,3	3,0	4,4	5,6	3,8		1,0	3,9		4,1
* 31	2,3	4,6	8,5		6,7	5,1	4,2	3,1		
32	2,8	3,8	6,5	11,0	4,3		2,2	0,5		1,8
* 33	4,5	5,2	9,0	7,5	5,2		1,0	3,6		3,8
34	5,0	4,0	6,2	6,2			1,5	4,1		5,2
* 35	3,2	2,0	4,6	5,7	3,7	2,1	1,2	3,4		
* 36	5,0	4,5	5,9	8,3	6,6	2,6	0,5		4,2	3,7

* an Leukämie erkrankte Kinder

TABELLE IV Blutdruckwerte zu verschiedenen Zeitpunkten perioperativ

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	95	95	95	90					95	70
2	100			100	60		70	75	75	70
3	95			95	70	70		75		
4	120	85	85	120	85	105				90
5	110			110		65	60			
6	125	115		140	115		110	140	135	110
7	130	120	130	130	110	110	110	130		135
8	140			140	90	90				
9	120			125				110		140
10		115	80	130	90	100		130	125	130
11	150	135		135	90	105	100			
12	115	120	90							
13	105	100					120		115	110
14	110	90	105	135	100	110	115	125	140	115
15					95	100				135
16			100		105			110	110	110
17	125			120						

18	95	100								
19	140			140	90	90				
20	120	95	105				95			
21	140		150	155	140		155			
22	125		120	140	140		120	110	120	120
23		80	95		75		95		90	100
24		95	100					130		125
25	105	115	95	115	90	60	75	100		100
26			135	90	95	95	110			
27		110	125					120		
28	90	110	100	140	85	85				
29	115	100	95	115			125	120		120
30	135	140	95	140				150		
31	120	115	120		90	80	80			
32	105	115	100	120	100		100	100	130	100
33	100	110	110	130	150		75			
34	135	135	160	160			120			
35	120	130	140	145	120	100	90	155		
36	90	110		150	120	100	80	100		

TABELLE V Werte des peripheren Widerstandes zu verschiedenen Zeitpunkten perioperativ

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	13,6	9,6	7,5						10,8	
2	17,2						18,9	28,8	11,7	
3	5,9			2,3	5,2	2,6	2,6	8,8		
4	7,8	12,5	10,0	9,3	7,1	9,1				
5	14,6			6,3		7,7	5,5			
6	44,8	28,0		29,8	33,8		21,6	18,6	16,9	
7	15,9	10,4	14,9	15,3	16,9		8,8	8,2		
8	24,0			11,7	20,5	24,3				
9	21,4			9,8				19,0		
10		33,8	8,4	12,6	9,2	9,0		8,2	13,9	
11	15,5	14,2		9,2	8,0	7,8	9,0			
12	12,1	14,3	11,7							
13	17,7	32,2					30,0		5,0	
14		18,4	14,2	19,3	10,3	11,0	12,8	8,9	9,2	
15					23,8	20,0				
16			18,5		17,5			18,0	15,0	

18	26,4	25,0								
19	28,0			11,7	20,5					
20	34,3	25,0	22,8				35,2			
21	21,2		21,1	10,7			129,2			
22	54,3		11,0	15,7	60,9			78,5	92,3	48,0
23		15,1	23,8		140,0	190,0	105,5		19,1	41,7
24			10,0							18,9
25	18,8	27,4	16,4	16,7	22,5	44,1	57,7	18,9		18,5
26				10,0	14,8	190,0	190,0			
27		22,0	16,0					27,9		
28	33,3	40,7	10,6	11,2	34,0					
29	22,1	22,7	9,0	7,8			125,0			29,3
30	31,4	46,7	21,6	25,0				38,5		
31	52,2	25,0	14,1		13,4	15,7	19,0			
32	37,5	30,2	15,4	11,0	23,2		45,5	200,0		55,6
33	22,2	21,1	12,2	17,3	28,8		75,0			
34	27,0	33,8	25,8	25,8			80,0			
35	37,5	65,0	31,0	25,4	32,4	47,6	75,0	45,6		
36	18,0	24,4		18,1	18,2	38,5	160,0			

TABELLE VI a Werte der klinischen Daten der untersuchten Kinder zu den jeweiligen Zeitpunkten

Blutfluß	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gruppe I	10,3/4,9 (2,2)	10,2/4,8 (2,4)	15,0/7,2/ (3,6)	24,2/15,8 (5,9)	11,1/5,3 (2,6)	12,0/8,7 (3,9)	12,9/9,2 (4,5)	6,1/2,6 (1,3)	6,5/2,2 (1,3)	8,3/4,9 (2,3)
Gruppe II	5,9/2,2 (0,6)	7,4/2,7 (0,8)	7,7/2,3 (0,6)	9,7/ 3,0 (1,0)	6,6/3,2 (1,0)	6,6/3,6 (1,1)	7,3/3,6 (1,1)	9,6/4,9 (1,5)	8,9/3,5 (1,2)	4,8/2,9 (0,9)
Gruppe III	4,2/1,4 (0,3)	4,2/0,9 (0,2)	7,4/2,2 (0,5)	7,8/ 3,3 (0,9)	4,3/1,8 (0,5)	2,4/1,6 (0,5)	1,7/1,1 (0,3)	3,6/1,8 (0,5)		3,9/1,5 (0,4)
Leukämie	3,9/1,3 (0,5)	3,8/1,2 (0,5)	7,2/2,0 (0,8)	8,2/ 2,6 (1,2)	4,8/1,7 (0,7)	2,9/1,5 (0,8)	1,7/1,3 (0,5)	3,8/1,0 (0,5)		4,3/1,0 (0,5)
Blutdruck										
Gruppe I	110/10 (5,8)	93/8 (4,7)	90/7 (5,0)	104/11 (4,8)	77/14 (7,0)	82/19 (8,5)			90/20 (10,0)	77/11 (6,5)
Gruppe II	124/14 (4,7)	113/15 (5,5)	101/19 (8,4)	132/7 (2,5)	99/10 (3,5)	103/7 (3,1)	111/7 (3,3)	124/12 (4,9)	125/12 (5,7)	123/13 (4,6)
Gruppe III	115/17 (4,5)	103/30 (7,5)	114/21 (5,5)	137/14 (3,9)	107/25 (7,3)	87/14 (5,3)	100/23 (6,5)	120/20 (6,3)	113/21 (12,0)	111/12 (4,9)
Leukämie	104/14 (5,5)	115/8 (3,2)	110/18 (7,2)	136/14 (6,2)	109/25 (10,3)	87/16 (7,3)	80/6 (2,7)	118/31 (18,3)		

TABELLE VI b Werte der klinischen Daten der untersuchten Kinder zu den jeweiligen Zeitpunkten

peripherer Widerstand	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gruppe I	11,8/4,8 (2,1)			6,0/3,5 (2,0)		6,4/3,4 (2,0)	9,0/8,6 (5,0)			
Gruppe II	20,7/10,4 (3,7)	21,6/9,5 (3,6)	13,5/3,7 (1,7)	15,1/6,7 (2,4)	17,5/8,6 (3,0)	14,4/7,3 (3,2)	16,4/9,1 (4,1)	13,5/5,5 (2,3)	12,0/4,8 (2,1)	
Gruppe III	31,3/11,0 (2,8)	30,2/12,8 (3,4)	17,3/6,6 (1,7)	15,8/6,2 (1,7)	37,1/36,5 (11,0)	87,6/80,0 (32,6)	91,4/51,7 (14,9)	68,7/67,7 (27,6)		35,2/15,4 (6,3)
Leukämie	30,3/13,3 (5,4)	33,9/16,6 (6,8)	16,8/8,2 (3,6)	17,7/5,0 (2,3)	24,8/8,2 (3,3)	36,4/14,3 (7,1)	77,3/51,5 (22,4)			

Standardabweichung hinter dem Trennstrich, SEM in Klammern,

n siehe Einzelwerttabellen

TABELLE VII *Blutfluß, peripherer Widerstand und Blutdruck in Ruhe und Narkose (alle perioperativ untersuchten Kinder)*

	Ruhe	Narkose	n	p
BF	5,6 ± 3,1	8,1 ± 3,8	36/35	0,05
PR	24,6 ± 12,3	15,7 ± 6,3	28/22	0,01
RR	116 ± 16	108 ± 21	29/22	ns

Tabelle VIII *Venöse Kapazität und Venenentleerungsgeschwindigkeit prae- und postoperativ*

	praeoperativ	postoperativ	n	p
VK	2,0 ± 1,0	1,4 ± 0,5	64/17	ns
VER	43,4 ± 14,2	36,2 ± 14,7	58/22	ns

Tabelle IX *Normalwerte des peripheren Blutflusses nach Altersgruppen*

Alter	n	$\bar{x}$	S	SEM
< 2 J.	7	9,4	4,9	2,0
3-4 J.	27	6,4	4,6	0,9
5-6 J.	27	5,7	7,5	1,4
7-8 J.	20	6,1	2,3	0,5
9-10 J.	12	3,8	1,4	0,3
11-12 J.	7	4,6	2,2	0,8
> 12 J.	7	4,3	1,2	0,5

TABELLE X Werte der in Ruhe (praeoperativ) untersuchten Parameter

Meßgröße	n	$\bar{x}$	s
Blutfluß	107	5,4	2,4
peripherer Widerstand	50	24,1	11,3
Blutdruck	66	110	17
Venenentleerungs-geschwindigkeit	58	43,4	14,2
venöse Kapazität	64	2,0	1,0

Tabelle XI Regressionsgleichungen

Gleichung	r	p	n
BF = 6,5 - 0,2 LA (J.)	- 0,31	0,01	107
PR = 18,8 + 1,03 LA (J.)	0,34	0,01	50
VER= 47,0 - 0,55 LA (J.)	- 0,14	ns	58
VK = 1,4 + 0,07 LA (J.)	0,26	0,01	64
RR = 96,4 + 2,8 LA (J.)	0,55	0,001	66
VER= 28,3 + 8,3 VK	0,60	0,001	52

Tabelle XII Korrelationskoeffizienten der somatischen Größen zu den jeweiligen untersuchten Meßgrößen

Meßgrößen	Alter	Gewicht	Körperlänge
Blutfluß	- 0,31 (107) 0,01	- 0,30 (100) 0,01	- 0,35 (88) 0,01
Blutdruck	0,55 (66) 0,001	0,55 (64) 0,001	0,56 (56) 0,001
peripherer Widerstand	0,34 (50) 0,01	0,38 (48) 0,01	0,32 (42) 0,01
Venenentlee-rungsgeschw.	-0,14 (58)	0,13 (54)	0,11 (47)
venöse Kapa-zität	0,26 (64) 0,05	0,39 (58) 0,01	0,34 (50) 0,01

n in Klammern, Signifikanzniveau unter den Klammern (ohne Angabe = ns)

TABELLE XIII a Periphere Durchblutungsmessungen in der Literatur

Untersucher	Methode	Größe in ml/100 ml x min.	Untersuchungsbedingungen	Alter
Allwood 1958 (3)	Wasser-Plethysmographie	2,1 ± 1,2	10 gesunde Männer	18-24 J.
		1,7 ± 1,2	20 kreislaufgesunde Rentner	70-82 J.
Becker 1972 (7)	Dehnungsmeßstreifen-Plethy.	1,9 ± 0,7	25 Patienten mit arteriellen Durchblutungsstörungen	?
Browse 1962 (16)	Wasserplethysmographie	2,1 ± 0,6	12 gesunde Männer	18-70 J.
Celander 1960 (19)	Wasserplethysmographie	7,9 ± 1,7	15 gesunde Neugeborene	1. Tag
		7,3 ± 1,4		3.-7. Tag
Dahn 1965 (25)	Wasserplethysmographie	2,7 ± 1,4	26 Männer Durchschnittsalter	25 J.
		2,5 ± 0,7	26 Frauen Durchschnittsalter	22 J.
		3,6 ± 1,6	26 Männer Durchschnittsalter	66 J.
		3,3 ± 1,3	26 Frauen Durchschnittsalter	67 J.
Hallböck 1971 (40)	Dehnungsmeßstreifen-Plethy.	2,9 ± 1,1	29 Männer, kreislaufgesund	50-90 J.
Kleinberg 1976 (47)	Luftplethysmographie	5,9 ± 2,7	12 gesunde Neugeborene	1.-3. Tag
Linderkamp 1978 (56)	Dehnungsmeßstreifen-Plethy.	7,5 ± 1,0	16 gesunde, reife Neugeborene	1.-6. Tag
		7,9 ± 1,7	11 Frühgeborene	1.-6. Tag
De Marées u. Gross 1973 (59)	Luftplethysmographie	5,7 ± 1,8	10 gesunde Kinder	4-8 J.
		4,1 ± 1,4	10 Kinder mit Cerebralparese	4-8 J.
Mortenson et al. 1975 (62)	Dehnungsmeßstreifen-Plethy.	5,1 ± 2,0	85 Kinder mit V. a. kongenitale Mißbildungen	3-8 J.
		3,9 ± 1,6		9-16 J.

TABELLE XIII b Periphere Durchblutungsmessungen in der Literatur

Untersucher	Methode	Größe in ml/100 ml x min.	Untersuchungsbedingungen	Alter
Preece and Voyce 1968 (66)	Wasserplethysmographie	3,4 ± 1,3	36 gesunde Kinder	5-10 J.
Schreiber 1971 (7)	Dehnungsmeßstreifen-Plethy.	2,1 ± 0,8	20 gesunde Männer u. Frauen	Durchschnittsalter 53 J.
Wong et al. 1976 (8)	Elektrokapazitanz	4,7 ± 1,3	17 Neugeborene	10-28 Tage
Steinle 1965 (57)	Luftplethysmographie	2,1 ± 1,0	100 gesunde Männer u. Frauen	20-25 J.

Tabelle XIV Venöse Kapazität und Venenentleerungsgeschwindigkeit in der Literatur

Untersucher	Methode	Größe in ml/100 ml x min. bzw. ml/100 ml	Untersuchungsbedingungen	Alter
Rudolfsky 1975 (70)	Dehnungsmeßstreifen-Plethy.	VK 3,4	48 gesunde Männer u. Frauen	30 ± 7 J.
Hallböck 1971 (40)	Dehnungsmeßstreifen-Plethy.	VK 2,9 ± 1,1 VER 78 ± 22	23 Patienten, gefäßgesund	50-90 J.
Rudolfsky 1977 (71)	Dehnungsmeßstreifen-Plethy.	VK 3,5 ± 0,6 VER 66 ± 18	102 gesunde Männer u. Frauen	Durchschnittsalter 28 J.
Steinle 1965 (7)	Luftplethysmographie	VK 2,1 ± 0,9	100 gesunde Männer u. Frauen	20-25 J.

9. LITERATURVERZEICHNIS

1. ABDULLA, W., CORDIS, U.:
Wirkung der Praemedikation mit Thalamonal auf den Katecholaminspiegel im Plasma.
Münch. Med. Wschr. 40 : 1297 (1979)

2. ABRAMSON, D.I.:
Circulation in the extremities.
Academic Press : New York and London (1967)

3. ALLWOOD, M.J.:
Blood flow in the foot and calf in the elderly;
a comparison with that in young adults.
Clin. Sci. 17 : 331 (1958)

4. ARNDT, J.O., KRZOSSA, M., MÜLLER, A.:
Der Einfluß von Ethrane und Halothan auf die Aktivität der Baroreceptoren des Aortenbogens von Katzen.
Vortrag Ethrane Symposion, Hamburg (1973)

5. BARBEY, K and BARBEY P.:
Ein neuer Plethysmograph zur Messung der Extremitätendurchblutung.
Zeitschrift f. Kreislaufforschung 52 : 1129 (1963)

6. BARCROFT, H., BONNAR W. Mc., EDHOLM, O.G., EFFERTEN, A.S.:
On sympathetic vasoconstrictor tone in human sceletal muscle.
J. Physiol. (Lond.) 102 : 21 (1943)

7. BECKER, H.M., KLEMM, J.:
Zur Wertigkeit der Dehnungsmeßstreifen-Stauplethysmographie.
Herz/Kreislauf 4/7 : 254 (1972)

8. BERG, K., CELANDER, O.:
Circulatory adaption in the thermoregulation of fullterm and premature newborn infants.
Acta paediatr. Scand. 63 : 865 (1974)

9. BLACK, G.W., Mc ARDLE, L.:
The effect of halothane on the peripheral blood results
Anaesthesia 17 : 82 (1962)

10. BOLLINGER, A.:
Bedeutung der Venenverschlußplethysmographie in der angiologischen Diagnostik.
Schweiz.Med.Wochenschrift 95/2 : 1357 (1965)

11. BOLLINGER, A.:
Durchblutungsmessungen in der klinischen Angiologie.
H. Huber : Bern-Stuttgart (1969)

12. BRISMAR, B., CRONESTRAND, R., JORFELDT, L., JUHLIN-DANNFELT, A.:
Leg blood flow and central circulation at various blood volumes: a perioperative study of nine patients with varicous veins.
Clin. Sci. and Mol. Med. 53 : 349 (1977)

13. BROD, J.:
Circulation in muscle during acute pressor responses to emotional stress and during chronic sustaines elevation of blood pressure.
Am. Heart J., 68 : 424 (1964)

14. BRODIE, T.G., RUSSEL A.E.:
On the determination of the rate of blood flow through an organ.
J. Phsiol. 32 : 157 (1905)

15. BROWSE, N.L.:
Effect of surgery on resting calf blood flow.
British medical J. 23 : 1714 (1962)

16. BROWSE, N.L.:
Effekt of bed rest on resting calf blood flow of healthy adult males.
Brit. Med. J. 23 : 1721 (1962)

17. BURGER, H.C., HOREMANN, H.W., BRAKKEE, A.J.:
Comparsion of some methods for measuring peripheral blood flow.
Phys. Med. Biol. 4 : 168 (1959)

18. CACHOVAN, I. M., BROD, J.:
The effect of intravenous angiotensin II on the peripheral circulation with particular reference to its bearing on general haemodynamics.
Clinical Sci. and Molecular Med. 51 : 219 (1976)

19. CELANDER, O.:
Blood flow in the foot and calf of the newborn.
Acta paediatr. 49 : 488 (1960)

20. CELANDER, O.:
Studies of the Peripheral Circulation.
In: the heart and circulation in the mewborn infant
(ed. D.E. Cassels) pp. 98 - 110.
New York: Grune and Stratton (1966).

21. CELANDER, O., THUNELL, G.:
The "mercury-in-rubber" strain gange for measurements
of blood pressure and peripheral curculation in newborn infants.
Acta Paediat. 50 : 505 (1961)

22. CLARK, C., COTTON, L.T.:
Blood flow in deep veins of leg: Recording technique and
evaluation of methods to increase flow during operation.
Brit. J.,Surg. 55 : 211 (1968)

23. CLARKE, R.S., HELLON, R.F.:
Venous collection in forearm and hand measured by the strain-
gange and volume-plethysmograph.
Clin.Sc. 16 : 103 (1957)

24. CLARKE, R.S.J., GINSBURG, J., HELLON, R.F.
Use of the strain gange plethysmograph in assessing the effekt
of certain drugs on the blood flow through the skin and muscle
of the human forearm.
J. Physiol.(London) 140 : 318 (1958)

25. DAHN, I.:
On clinical use of venous occlusion plethysmography of calf I. Methods and controls.
Acta Chir. Scand. 130 : 42 (1965)

26 DAHN, I., HALLBÖÖK, T.:
Simultaneous blood flow measurements by water and strain gauge plethysmography.
Skand. J. Clin. Lab. Invest. 25 : 419 (1970)

27 DOHN, K.:
Plethysmographs usable during functional states recording volume changes in ml per 100 ml of extremity.
Rep. Steno Hosp. (Kbh.) 6 : 147 (1956)

28 EGLUND, N., HALLBÖÖK, T., LING, L.G.:
The validity of strain gauge plethysmography.
Scand. J. Clin. Lab. Invest. 29 : 155 (1972)

29 FOLKOW, B.:
Nervous control of the blood vessels.
Physiol. Rev. 35 : 629 (1955)

30 FOLKOW, B., GELIN, L.E., LINDELL, S.E., STENBERG, K., THOREN, O.:
Cardiovascular reactions during abdominal surgery.
Annals of surgery 156 : 905 (1962)

31. FORMEL, P.F., DOYLE, J. T.:
Rationale of venous occlusion plethysmography.
Circulation Res. 5 : 354 (1957)

32. GEIGY DOKUMENTA:
Wiss. Tabellen 7. Auflage.
Geigy, Basel (1969)

33. GRAF, K.:
Auswertung und Meßfehler occlusionsplethysmographischer Durchblutungsregistrierungen.
Acta Physiol. Scand. 60 : 120 (1964)

34. GRAF, K., WESTERSTEN, A.:
Untersuchungen über Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten eines flexiblen Extremitätenplethysmographen.
Acta Physiol. Scand. 46 : 1 (1959)

35. GREENFIELD, A.D.M.:
Venous occlusion plethysmography.
Math. Med. Res. 8 : 293 (1960)

36. GREENFIELD, A.D.M., WHITNEY, R. J., MOWBRAY, J. F.:
Methods for the investigation of peripheral blood flow.
Brit. Med. Bull. 19 : 101 (1963)

37. GUTMANN, J.:
Venenverschluß-Plethysmographen.
Hausschrift d. Fa. Gutmann, Eurasberg

38. GUTMANN, J.:
Moderne Gerätetechnik für Venenverschlußplethysmographie.
Herz, Kreislauf 11 : 365 (1971)

39. GUTMANN, J., KRÖTZ, J.:
Zur Genauigkeit der Dehnungsmeßstreifenmethode bei der venösen Kapazitätsmessung.
Folia angiologica 20 : 103 (1972)

40. HALLBÖÖK, T., GÖTHLIN, J.:
Strain gange plethysmography and phlebography in diagnosis of deep venous thrombosis.
Acta Chir. Scand. 137 : 37 (1971)

41. HEWLETT, A. W., ZWALUVENBURG, J. G.:
The rate of blood flow in the arm.
Heart 1 : 87 (1909)

42. HICKL, E. J., RIEGEL, K. P.:
Angewandte Perinatologie.
2. Auflage, München-Berlin-Wien: Urban und Schwarzenberg (1980)

43. HOBBS, J. T., EDWARDS E. A.:
Measurements of femoral arterial blood flow with radio-iodinated albumin.
Lancet 2 : 273 (1962)

44. HOLLING, H. E., VEREL, D.:
Circulation in the elevated forearm.
Clin. Sci. 16 : 197 (1957)

45. HOREMANN, H. W.:
Comparison of methods for measuring peripheral blood flow.
Utrecht: Dissertation (1958)

46. KARLICZEK, G.:
Halothan und Kreislauf in Anaesthesiologie und Intensivmedizin "20 J. Flouthane".
Hrsg. Kirchner, E., S 36 (1978)
Springer

47. KLEINBERG, F.:
A volume-displacement plethysmograph to measure limb blood flow in the newborn infant.
Mayo Clin. Proc. 51 : 430 (1976)

48. KLEMM, J.:
Besitzt die 133-Xenon-Clearance-Methode zur Muskeldurchblutungsbestimmung klinische Routinereife ?
Radionukl. in Kreislaufforschung und Diagnostik.
5. Jahrestagung d. Ges. für Nuclearmed., Wien 173 (1967)

49. KONDO, B., KATZ, L. N., MEYER, J., MALINOW, M. R.:
The plathysmographic measurement of blood flow through the forepaw during experimental shock.
Amerik. Heart J. 33 : 207 (1947)

50. KONZETT, H.:
Einfluß von emotionalen Belastungen auf die Durchblutung der Extremitäten des Menschen.
Symposium über Funktionsabläufe unter emotionaler Belastung.
S. Karger, Basel (1964)

51. KREBS, R.:
Pharmakologie der Anaesthesie
in: Kinderanaesthesie (herausgegeben von Dick, W., Ahnefeld, F. W.)
pp: 39 - 61.
Springer, Berlin-Heidelberg-New York (1976)

52. KREBS, R., KERSTING, F.:
Zur Ursache der hämodynamischen Nebenwirkungen einiger Narkotika.
Anaestesist 21 : 153 (1972)

53. KUSCHINSKY, G., LÜLLMANN, H.:
Kurzes Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie.
Thieme: Stuttgart (1976)

54. LIND, A. R., SCHMID, P. G.:
Comparison of volume and strain gauge plethysmography during static effort.
J. Appl. Physiol. 32 : 552 (1972)

55. *LINDBJERG, J. F.:*
Diagnostic application of Xenon-133-method in peripheral arterial disease.
Scand. J. Clin. Lab. Invest. 17: 589 (1966)

56. *LINDERKAMP, O., STROHHACKER, I., VERSMOLD, H. T., KLOSE, H., RIEGEL, K. P., BETKE, K.:*
Peripheral circulation in the newborn: interaction of blood flow, blood pressure, blood volume, and blood viscosity.
Eur. J. Paediatr. 129 : 73 (1978)

57. *LINDSTRÖM, B., AHLMANN, H., JONSSON, O., SIVERBSON, R., STENQVIST, O.:*
Blood flow in the calves during surgery.
Acta Chir. Scand. 143 : 335 (1977)

58. *MAKIN, G. S.:*
The effekt of surgical operations on the velocity of venous return from the leg.
J. Surg. Res. 10 : 513 (1970)

59. *MAREES, de H., GROSS, F.:*
Zur peripheren Hämodynamik cerebralparetischer Kinder.
Neuropaediatrie 4 : 388 (1973)

60. *MATHEW, H.:*
Acute barbiturate poisoning.
Exerpta Medica: Amsterdam (1970)

61. MELLANDER, S., JOHANSSON, B.:
Control of resistence, exchange and capitance functions in the peripheral circulation.
Pharmacological Rev. 20 / 3 : 117 (1968)

62. MORTENSSON, W., TORGIL, H., LINDSTRÖM, N. R.:
Strain gauge plethysmography for blood flow measurements in the legs of children.
Paediatr. Radiol. 3 : 29 (1975)

63. NIELSEN, S. L., PAULEV, P.-E.:
A simple water plehtysmograph with standardized sleeves.
Scand. J. Clin. Lab. Invest. 29 : 159 (1972)

64. NORRIS, W., TELFER, A. B. M.:
Thalamonal as a pre-operative sedative.
Br. J. Anaesth. 40 : 517 (1968)

65. O'DONNELL, T., CORSMAN, D., CALLOW, A.:
Noninvasive intraoperative monitoring: a prospective study comparing doppler systolic occlusion pressure and segmental plethysmography.
American J. Surgery 135 : 539 (1978)

66. PREECE, A. W., VOYCE, M. A.:
Venous occlusion plethysmography in children.
Acta Paediatr. Scand. 57 : 15 (1968)

67. PRICE, H.L., LINDE, H.O., MOISE, H.T.:
Central nervous aktion of halothan effecting the systemic circulation.
Anaesthesiologie 24 : 770 (1963)

68. ROCCO, A. G., VANDAM, L. D.:
Changes in circulation consequent to manipulation during abdominal surgery.
J. A. M. A. Vol. 164 No. 1 (1957)

69. ROTHLIN, E., CERLETTI, A.:
Die Plethysmographie am Menschen, 6. Mitteilung, Begriff und Methodik - physiologische Untersuchungsergebnisse, klinische Fragestellungen.
Schweiz. Med. Wschaft. 76 : 768 (1946)

70. RUDOLFSKY, G., NOBBE, F., EHRINGER, W.:
Veränderungen der Venenkapazität durch Kaltwasseranwendungen bei Gesunden und bei Patientin mit chronisch venöser Insuffizienz.
Folia Angiologica 23 : 201 (1975)

71. RUDOLFSKY, G., NOBBE, Fl., BROCK, F.-E.:
Venenverschlußplethysmographie.
Diagnostik 10 : 24 (1977)

72. SCHMIDT, R.F., THEWS, G.:
Einführung in die Physiologie.
Springer: Berlin, Heidelberg, New York (1976)

73. SCHREIBER, H.:
Die Venenverschlußplethysmographie in der Fachpraxis.
Medizinal Markt/ACTA MEDICO-TECHNICA 18. Jhrg. Nr. 3 (1979)

74. SHEPHERD, J. T.:
The human cardiovascular system.
Raven: New York (1980)

75. SIGGARD-ANDERSEN, J., PETERSEN, F. B.:
Comparison of the 133-Xenon-Clearance and venous
occlusion plethysmography.
In: H. Ehringer und E. Deutsch Durchblutungsstörungen,
Meßmethodik und Pharmakotherapie.
Schattauer, Stuttgart-New York (1970)

76. SPENCER, M. P., DENISON, A. B.:
Square-wave eletromagnetic flowmeter for surgical and
experimental application.
Meth. Med. Res. 8 : 321 (1960)

77. STEINLE, H.:
Plethysmographische Messungen der Extremitätendurchblutung
bei kreislaufgesunden Versuchspersonen.
Tübingen: Inaugural Dissertation (1965).

78. STOLTE, B. H.:
Plethysmographie Volgens de Methode van Whitney.
Dissertation: Amsterdam (1971)

79. STRANDNESS, D. E., BELL, J. W.:
Diagnosis and objective evaluation using a mercury strain gauge.
Annals of Surgery 161 Suppl.: 3 (1965)

80. STROHHACKER, J.:
Periphere Durchblutung bei reifen und unreifen Neugeborenen:
Zusammenspiel von peripherem Blutfluß, Blutvolumen, Blutdruck
und Viskosität.
Dissertation: München (1980)

81. TANNISTO, T., TAKKI, S., NIKKI, P., JÄÄTTELÄ, A.:
Effect of operativ stress on plasma catecholamine levels
during neuroloeptanalgesia.
Anaesthesist 22 : 158 (1973)

82. UVNÄS, B.:
Sympathetic vasidilatator system and blood flow.
Physiol. Rev. 40 : Suppl. 4, 68 (1960)

83. VATNER, S. F., Mc RITCHIE, R. J.:
Reflex limb dilatation following norepinefrine and
angiotensin II in conscious dogs.
American Journal of Physiol. 230, 3 : 557 (1976)

84. WHELAN, R. F. :
Action of adrenalin on limb blood vessels.
Brit. Med. Bulletin 19 : 125 (1963)

85. *WHITNEY, R. J.:*

The measurement of changes in human limb volume by means of a mercurey-in-rubbery strain gauge.

J. Physiol. 109 : 5 (1949)

86. *WHITNEY, R. J.:*

The measurements of volume changes in human limbs.

J. Physiol. 121 : 1 (1953)

87. *WITZLEB, E.:*

Funktionen des Gefäßsystems.

In: Schmidt, R. R. und Thews, G., Einführung in die Physiologie des Menschen.

Springer, Berlin-Heidelberg-New York: (1976)

88. *WONG, W. H., WU, P. Y. K., KAFKA, H., FREEDMAN, R. I., LEVONE, N. E.:*

Blood flox and venous distensibility in the upper and lower extremities of newborn infants.

Acta Paediatr. Scand. 65 : 571 (1976)

89. *WYANT, G. M., MERRIMAN, J. E., KILDUFF, C. J., THOMAS, E. T.:*

The cardiovascular effects of halothane.

Canadian Anaesthesiological Society J. 5 : 384 (1958)

D A N K S A G U N G

Herrn Dr. F. J. Helmig und Herrn Priv. Doz. Dr. O. Linderkamp danke ich für die Betreuung bei der Durchführung der Arbeit. Allen im Operationssaal Tätigen danke ich für die Nachsicht, Geduld und Mühe bei dem dort durchgeführten experimentellen Teil meiner Arbeit. Mein Dank gilt auch den Schwestern und Ärzten der chirurgischen Kinderstationen.

Besonderen Dank möchte ich Frau Monika Günther für die Mithilfe bei den experimentellen Untersuchungen und ihrer Auswertung abstatten.

Für die Unterstützung bei der graphischen Gestaltung und statistischen Auswertung danke ich Herrn Dr. M. Prager und E. Prager.

L E B E N S L A U F

Michael HARTUNG

geboren am 19.02.1953 in Halle/Saale

als erstes Kind des Medizinstudenten Herwarth Hartung und seiner Frau, der technischen Zeichnerin Ingeborg Hartung, geborene Brückner.

Von 1959 - 1963 besuchte ich in Magdeburg und später nach der Republikflucht meiner Eltern in Bad Meinberg die Grundschule.
Von 1963 - 1966 Besuch des altspr. Gymnasiums Leopoldinum in Detmold.
Nach weiteren 5 Jahren auf dem altspr. Gymnasium Theodorianum in Paderborn legte ich dort im Mai 1971 die Reifeprüfung ab.
Meinen Wehrdienst leistete ich vom Jahre 1971 bis 1973.
Das anfänglich in den Fächern Mathematik und Physik 1973 begonnene Hochschulstudium an der Ludwig-Maximilians-Universität, München setzte ich dann 1975 im Fach Medizin fort und machte im November 1981 das Staatsexamen. Die Approbation als Arzt erfolgte ebenfalls im November 1981. Den experimentellen Teil dieser Arbeit führte ich in der Zeit vom November 1978 - März 1979 durch.